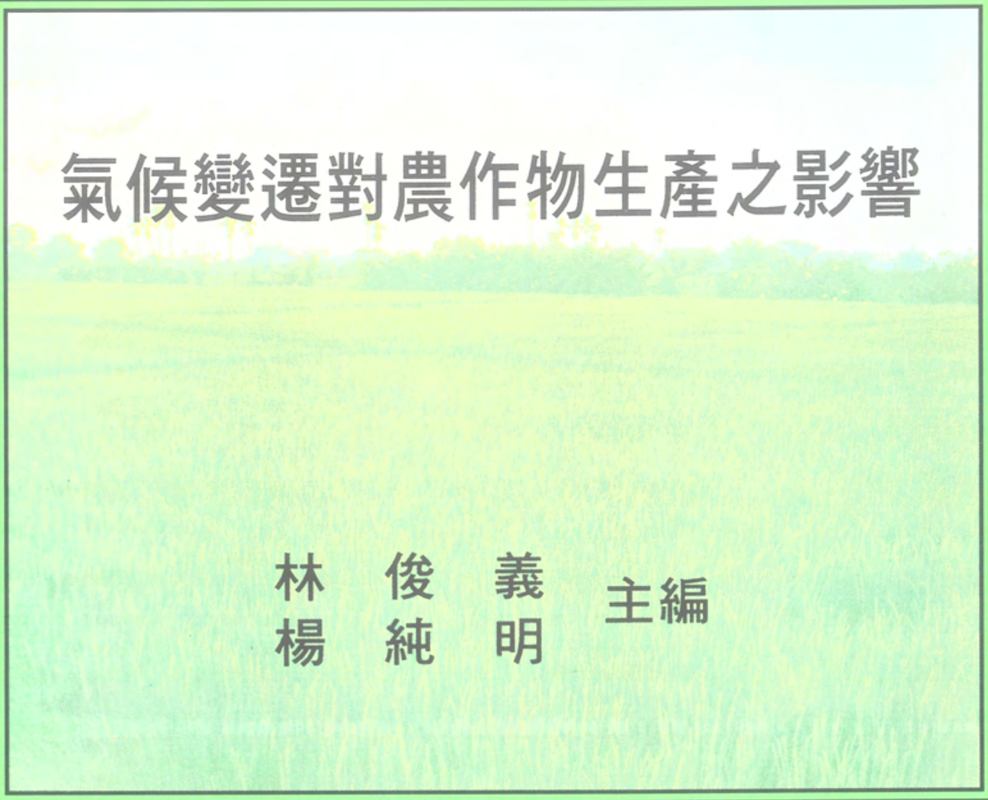


氣候變遷對農作物生產之影響

林　俊　義
楊　純　明　主編

臺灣省農業試驗所出版

中華民國八十七年六月

氣候變遷對農作物生產之影響

Effects of Climate Change on Crop Production

臺灣省農業試驗所特刊第71號

氣候變遷對農作物生產之影響

行政院農業委員會農業試驗所圖書館

林　俊　義
楊　純　明　主編

本書為「全球氣候變遷對臺灣地區糧食生產影響研究」計畫執行成果

行政院農業委員會經費補助

臺灣省農業試驗所出版

中華民國八十七年六月

ISBN 957-02-1643-3

Effects of Climate Change on Crop Production

Editors

Chien-Yih Lin, Ph.D.
Director, Taiwan Agricultural Research Institute

Chwen-Ming Yang, Ph.D.
Agronomist, Taiwan Agricultural Research Institute

Project Report of

"Studies on Effects of Global Climate Change on Crop Production in Taiwan Area"

Financial Supported by

Council of Agriculture, the Executive Yuan, ROC

Published by Taiwan Agricultural Research Institute
Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 41301, ROC
June, 1998

序

氣候變遷，已是眾所矚目的全球性問題，不僅直接影響民眾日常作息，也密切關係各行各業的運作與發展。氣候變遷主要由於大氣組成分改變造成的溫室效應增強所致，而氣候的加速變遷則反饋影響環境與生態，造成地貌與地物的改變。同理，氣候變遷與農業生產亦是交互影響，農業生產過程釋出若干溫室氣體至大氣中，氣候變化則顯著干擾農業產業的生產過程。於是乎，未來全球糧食的生產及安全供給，需要依賴氣候的穩定性與氣候變遷的可預期性，更仰仗農民對環境改變的調適能力。因此，針對氣候變遷的機制與演進方向，農業生產技術的相對配合與改善，以及行政支援的因應協調與分工，均需要力求統合與全面動員。唯有如此，農業才能永續經營，糧食供應才不致於發生危機，人類或能長遠生存於這片土地上。

解決氣候變遷問題，並非易事，亦不簡單。欲降低溫室效應，必先平衡經濟發展與環境保護的輕重，評估產業的優先次序，控制溫室氣體的排放量。再者，氣象體系的異動牽涉全球的氣流運動，涵蓋地域與層面甚廣，必須在世界各國都有共識與意願情況下攜手合作，方有減少溫室氣體排放量的機會。兩相比較下，農業生產與氣候變遷的關係單純許多。加強廢棄物的正確處理、禁止森林濫伐、嚴限殘留物的焚燒、及改進田間栽培管理等措施，即可大幅下降農業溫室氣體的產生。而擬在氣候變遷形成的新環境持續農作物的生產，則需要積極研發新科技提高農作物的調適能力，栽培方法與育種改良均需齊步併行，農地設施與農場管理亦應相互配合。

為期深入探討溫室效應與氣候變遷，瞭解對農作物生產的潛在影響，進而提供可能的因應措施與策略，乃邀集國內學者專家共聚研討。在行政院農業委員會經費支助下執行了「全球氣候變遷對臺灣地區糧食生產影響研究」科技計畫。本書即為計畫執行成果，彙編學者專家之研究報告而成，為國內農業界首次以團隊方式深入探討氣候變遷與農作物生產之關係者。本書內容橫跨學門領域，包括了文獻的回顧、試驗研究成果、及個人經驗與心得，不僅可提供農政機關政策研擬參考，更為未來的研究方向導引出一盞明燈。

編者誠摯的感謝所有參與計畫的學者專家，費心的撰稿、修正、審查與校對。雖然錯誤仍在所難免，但均為編者責任，敬請不吝指正。

編者

林 俊 義

楊 純 明

1998年6月

編　　者

林俊義

學歷：國立中興大學植物病理學系學士

　　　國立中興大學植物病理學系碩士

　　　美國普渡大學植物及植物病理學系哲學博士(1978)

專長：植物病理

　　　抗病育種

　　　植物病原細菌

　　　種苗生產

　　　永續農業

現任：臺灣省農業試驗所所長

楊純明

學歷：國立中興大學農藝學系學士

　　　國立中興大學糧食作物研究所碩士

　　　美國德州農工大學土壤暨作物學系哲學博士(1990)

專長：環境農藝

　　　作物生理

　　　作物物理

　　　農業微氣象

　　　雜草管理

現任：臺灣省農業試驗所農藝系副研究員

作　者

王銀波 教授 國立中興大學土壤環境系	Yin-Po Wang, Ph.D. Professor, Department of Soil & Environmental Sciences National Chung-Hsing University
王慶裕 副教授 國立中興大學農藝系	Ching-Yuh Wang, Ph.D. Associate Professor, Department of Agronomy National Chung-Hsing University
申雍 教授 國立中興大學土壤環境系	Yuan Shen, Ph.D. Professor, Department of Soil & Environment Sciences National Chung-Hsing University
李文汕 副教授 國立中興大學園藝系	Wen-Shann Lee, Ph.D. Associate Professor, Department of Horticulture National Chung-Hsing University
朱鈞 教授 國立臺灣大學農藝系	Chun Chu, Ph.D. Professor, Department of Agronomy National Taiwan University
朱德民 教授 國立中興大學農藝系	Teh-Ming Chu, Ph.D. Professor, Department of Agronomy National Chung-Hsing University
宋濟民 教授 國立中興大學農藝系	Jin Min Sung, Ph.D. Professor, Department of Agronomy National Chung-Hsing University
林正錺 教授 國立中興大學土壤環境系	Chen-Fang Lin, Ph.D. Professor, Department of Soil & Environmental Sciences National Chung-Hsing University
林俊義 所長 臺灣省農業試驗所	Chien-Yih Lin, Ph.D. Director Taiwan Agricultural Research Institute
林瑞松 副教授 國立中興大學園藝系	Ruey-Song Lin, Ph. D. Associate Professor, Department of Horticulture National Chung-Hsing University

倪正柱 教授 國立中興大學園藝系	Cheng-Chu Nee, Ph.D. Professor, Department of Horticulture National Chung-Hsing University
陳世雄 教授 國立中興大學農藝系	Shih-Shiung Chen, Ph.D. Professor, Department of Agronomy National Chung-Hsing University
陳隆鐘 副教授 國立中興大學植物病重害系	Lung-Chung Chen, Ph.D. Associate Professor, Department of Plant Pathology National Chung-Hsing University
翁仁憲 教授 國立中興大學植物系	Jen-Hsien Weng, Ph.D. Professor, Department of Botany National Chung-Hsing University
黃山內 場長 臺灣省臺南區農業改良場	Shan-Ney Huang, Ph.D. Director Tainan District Agricultural Improvement Station
黃益田 副場長 臺灣省桃園區農業改良場	Yih-Tyang Huang, Ph.D. Vice Director Taoyuan District Agricultural Improvement Station
張靜貞 副研究員 中央研究院經濟研究所	Ching-Cheng Chang, Ph.D. Associate Research Fellow, Institute of Economics Academia Sinica
葉茂生 教授 國立中興大學農藝系	Mau-Shing Yeh, Ph.D. Professor, Department of Agronomy National Chung-Hsing University
楊盛行 教授 國立臺灣大學農化系	Shang-Shyng Yang, Ph.D. Professor, Department of Agricultural Chemistry National Taiwan University
楊純明 副研究員 臺灣省農業試驗所農藝系	Chwen-Ming Yang, Ph.D. Agronomist, Department of Agronomy Taiwan Agricultural Research Institute
趙震慶 教授 國立中興大學土壤環境系	Chen-Ching Chao, Ph.D. Professor, Department of Soil & Environmental Sciences National Chung-Hsing University

廖志翔 科長 中央氣象局農業氣象科	Chih-Shiang Liao, M.S. Branch Chief, Agrometeorological Branch Central Weather Bureau
鄭清煥 研究員 嘉義農試分所植保系	Ching-Huan Cheng, Dr. Agric. Research Fellow, Department of Plant Protection Taiwan Agricultural Research Insitute
劉瑞美 副教授 嘉南藥理學院環工衛生系	Rey-May Liou, Ph. D. Associate Professor, Dept. of Environ. Engineering & Health Chia-Nan College of Pharmacy
賴朝明 教授 國立臺灣大學農化系	Chao-Ming Lai, Ph.D. Professor, Department of Agricultural Chemistry National Taiwan University
盧虎生 教授 國立臺灣大學農藝系	Huu-Sheng Lur, Ph.D. Professor, Department of Agronomy National Taiwan University
蕭淑芬 助理研究員 臺灣省桃園區農業改良場	Shu-Fen Shiau, M.S. Assistant Research Fellow, Division of Crop Environment Taoyuan District Agricultural Improvement Station.
譚鎮中 副教授 國立中興大學土壤環境系	Chen-Chung Tan, Ph.D. Associate Professor, Dept. of Soil & Environ. Sciences National Chung-Hsing University

目　錄

序 …… V
編者 …… VI
作者 …… VII

第一章　總論 …… 1
第二章　氣候變遷對全球與臺灣地區氣象環境之影響及因應策略 …… 7
第三章　全球氣候變遷對全球及臺灣地區農業生產之影響及因應調適措施與策略 …… 33
第四章　全球氣候變遷對農作物病害發生影響及因應策略 …… 59
第五章　全球氣候變遷對臺灣地區蟲害發生影響及因應對策 …… 73
第六章　災害性天氣與氣候對臺灣地區農作物生產影響及因應策略 …… 87
第七章　全球氣候變遷對臺灣地區設施栽培的影響與因應策略 …… 109
第八章　作物生產對臺灣地區溫室效應氣體之產生量及減量措施 …… 121
第九章　氧化亞氮對農作物生產之影響及其因應策略 …… 141
第十章　二氧化碳、氣溫及紫外線升高對作物生育及產量之影響 …… 151
第十一章　溫室效應及減量措施對農業之經濟影響評估 …… 161
第十二章　作物生產模式預測 …… 183
第十三章　全球氣候變遷對臺灣地區農作物生產影響的因應研究與調整方向 …… 191
附錄一 …… 209
名詞索引 …… 210

CONTENTS

Foreword ---------- V
Editors ---------- VI
Contributors ---------- VII

Chapter 1 Introduction ---------- 1
Chapter 2 Variations in Taiwan and Global Meteorological Environment to Global Climate Change and Strategy in Response ---------- 7
Chapter 3 The Impacts and the Adaptive Strategies of Global Climate Change on Agricultural Production ---------- 33
Chapter 4 The Impact of Global Climate Change on Plant Diseases and Corresponding Strategies ---------- 59
Chapter 5 Impact of Global Warming on Crop Insect Pests and Its Countermeasure ---------- 73
Chapter 6 Effects of Meteorological Disaster on Crop Production in Taiwan Prevention Strategy Against The Changing Agrometeological Environments ---------- 87
Chapter 7 Effects of Global Climate Change on Structure Cultivation in Taiwan Area and Strategies in Response ---------- 109
Chapter 8 The Effect of Crops Production on the Greenhouse Gas Emissions and Agricultural Option for Mitigation of Greenhouse Gas Emissions ---------- 121
Chapter 9 Effects of Nitrous Oxide on Crop Production ---------- 141
Chapter 10 The Effects of CO_2 Enrichment, High Temperature and Ultraviolet on Growth and Yield of Crops ---------- 151
Chapter 11 The Economic Impact of Global Climate Change and Emission Reduction Strategies on Agriculture ---------- 161
Chapter 12 Prediction with Crop Growth Models ---------- 183
Chapter 13 Research Strategies and Adjustment Directions for Crop Production in Taiwan Area in Response to Global Climate Change ---------- 191
Appendix ---------- 209
Index ---------- 210

氣候變遷對農作物生產之影響
第1章　總　論
1-6, 1998

第一章　總　　論

林俊義　楊純明
臺灣省農業試驗所

摘要……………………………………………………………………………… 2
壹、前言…………………………………………………………………………… 2
貳、本書之編成…………………………………………………………………… 3
參、本書內容……………………………………………………………………… 4
肆、結語與誌謝…………………………………………………………………… 5
伍、引用文獻……………………………………………………………………… 5
英文摘要…………………………………………………………………………… 6

第一章 總 論

林俊義 楊純明
臺灣省農業試驗所

摘 要

由於大氣組成分改變造成的溫室效應(greenhouse effect)增強，引發了全球氣候的顯著變遷，並如索鏈串連般的點燃各種環境與生態問題。據估計單憑石化能源消耗及林地砍伐兩項，已提高大氣的二氧化碳濃度達25% (Foss, 1995)，其他輻射活躍的微量氣體諸如甲烷(methane)、氧化亞氮(nitrous oxide)、及人工合成之氟氯碳化物(chlorofluorocarbons)等亦大幅的增加。這些所謂的溫室效應氣體吸收熱量儲存於大氣中，長期持續累積的結果而升高地球的平均氣溫，促成地表的溫暖化，也因此改變氣象的常態運轉導致氣候的加速變遷。氣候與農業是交互影響的，農業生產過程釋出若干溫室氣體至大氣中，氣候變化則顯著干擾農業產業的生產過程。未來的糧食生產及全球糧食的安全供給，一方面依賴氣候的穩定性與氣候變遷的可預期性，另一方面則需要仰仗農民對環境改變的調適能力。為期瞭解溫室效應與氣候變遷的機制，對農作物生產的潛在影響，進而提供可能的因應措施與策略，乃邀集國內學者專家共聚研討。本書即由參與人士執筆，內容橫跨學門領域，包括了文獻的回顧、試驗研究成果、及個人經驗與心得，為國內農業界首次以團隊方式深入探討氣候變遷與農作物生產之關係者，不僅可提供農政機關政策研擬參考，更為未來的研究方向導引出一盞明燈。

關鍵詞：氣候變遷，溫室效應，農作物生產，策略。

壹、前 言

一、氣候變遷與農作物生產之關係

氣候變遷的發生，對農作物的生產有正面的、也有負面的影響，端視氣候變因的強弱及發生時機而定，亦隨人為因應對策有別。就臺灣地區而言，一期(春)作期間的春雨與梅雨降水量及分佈，二期(秋)作期間的午後雷雨、颱風、及東北季風，以及全年乾旱期的長短，因氣候變遷引起的頻率與強度轉變是影響農作物生產的主因。再者，伴隨氣候變遷出現的不規則災害性天氣，難以準確估測的病、蟲害種類與流行的更迭，亦將嚴重干擾農作物的正常生產。從滿足人口糧食需要的觀點，氣候變遷議題的瞭解與探討是必需與必要的，而如何解決其引發的諸項氣候、環保、人文、地理、社會、經濟與民生等衍生問題則是吾人當前面臨的重要課題之一。

近年來由於快速的氣候變遷產生的災變，曾對全球農業生產造成鉅大衝擊。舉例來說，如1987年南亞季節雨(monsoon)的減少，使

得印度、巴基斯坦、孟加拉等國出現嚴重的糧食短缺；1980年代的持續乾旱，引起非洲廣大地區糧食生產不足，饑荒頻傳。災變發生的當年，甚至造成國際穀物及其他農產品價格和交易的一度失序。臺灣地區於1988年曾發生幾場豪雨引起的水患(徐, 1995; 謝等, 1991)，1996年間曾有多次颱風侵襲的危害(臺灣農業年報, 1997)，此兩案例分別均造成高達新臺幣40億元的災情損失。由楊(1996)的50年統計資料亦證實，臺灣地區的農業氣象災害發生頻率甚高，災情損失龐大。據此顯示，氣候變遷確與農業生產密切相關，也證明氣候變遷引發的氣象災害對全球糧食生產的潛在影響，確實值得深究與力謀解決。

溫室效應為氣候變遷的催化劑，其主要來源為石化能源的消耗及工商業流程釋出的溫室氣體，農業部門製造的比例低於5%。在農、林、漁、牧各產業中，凡農業廢棄物的不當處理均將形成甲烷，若將廢棄物或殘留物燃燒則釋出二氧化碳。以農作物生產而言，水田的還原狀態可能釋放甲烷，旱田的氧化則可能逸釋氧化亞氮，惟正確的栽培與管理方法可以降低釋放量。但是，綜合整個農作物生產過程的二氧化碳釋放與減量的總和，其淨值是減量的正面效果，而且經光合作用產生的氧氣有清新、淨化空氣的功用。因此，若給予農作物生產系統良好的管理與經營，可將負面的甲烷與氧化亞氮釋放量降至最低，而提升正面的二氧化碳減量與氧氣產製效率。

二、因應氣候變遷之農作物生產策略

推測在溫室效應未獲得顯著改善之前，快速的氣候變遷仍將無法避免，不規律的天氣與氣候型態將更形渾沌, 氣象混亂及異常現象將更頻繁。為維持國內穩定的糧食供應，為確保臺灣地區農業的永續經營，農作物的生產系統與制度應該針對氣候變遷趨勢適度調整，農作物的品種特性、栽培方法、乃至於生產過程相關的配合因子均應重新考量與改進。又氣候的變遷雖然是漸進的，惟局地天氣與氣候的變化卻十分顯著，各地區有其特定的災害性天氣發生，故因應策略必須因地制宜方獲實效。農政機關當速邀集產、官、學界相關人員會商，以求集思廣益、凝聚各方建言，全面動員做好各項因應措施，為氣候變遷下的農作物生產留一份生機。

如前述，牽引氣候變遷的溫室效應氣體主由石化燃料及化學製品所產生，因此國家必須擁有一套完整的能源政策，規範各種產業的溫室效應氣體排放量。我國雖非聯合國「氣候變化綱要公約」簽署國，然身為地球村一員仍有遵守公約之義務，儘力控制溫室氣體的排放。但是，考量我國目前仍屬於開發中國家，經濟建設依然蓬勃發展，也勿須自我設限過於嚴苛造成國家經建停頓。如何在經濟發展與環境保護之間求得平衡，是全民應有的共識，更是現階段努力的目標。偏頗激進猶如不足，均非合理作法而得不償失，進、退之間三思而行。

冀望本書內容有助於農政機關研擬因應對策，並提醒農業試驗研究單位重視必要的試驗研究，喚起農民團體、民間企業、及一般民眾關切和支持改善措施，共為子孫世代的生存發展貢獻一份心力。

貳、本書之編成

有鑑於氣候變遷對農業的深遠影響，行政院農業委員會特自87年度起成立「氣候變遷對農業的影響研究」科技計畫，責成農糧處、林業處、畜牧處、漁業處等單位分別設立統籌計畫，專案研究氣候變遷對農、林、漁、牧等產業的影響。在農糧處轄制之「氣候變遷對農作物的影響研究」計畫中，分置三項細部研究計畫，「全球氣候變遷對臺灣地區糧食生產影響研究」乃其中一項，目的在於邀集國內學者專家，資料蒐集、整理、分析與評估全球氣候變遷對臺灣地區農作物生產的影響，提出調適之因應對策，供作農政機關和農業試驗

研究單位參考、施行。本書即為計畫執行成果，彙編學者專家之研究報告而成，前後歷時近一載。

本計畫執行之初，首先成立籌備委員會，總計邀請10單位24位學者專家與會，農政機關部份為行政院農業委員會農糧處農產科林明華技正和鄭耀星技正，大專院校部份為(1)國立臺灣大學全球變遷中心柳中明教授、農業化學系楊盛行教授、(2)國立中興大學李成章校長、農藝系朱德民教授、宋濟民教授、林俊隆教授、園藝系倪正柱教授、植物系翁仁憲教授、土壤環境系王銀波教授、申雍教授、植物病理系謝式坪鈺教授、昆蟲系齊心教授、(3)國立屏東科技大學水保技術系徐森雄教授、(4)嘉南藥理學院環境工程系劉瑞美副教授，農業試驗研究機構部份為(1)臺灣省農業試驗所林俊義所長、應用動物系陳炳輝研究員、農藝系楊純明副研究員、嘉義分所植保系鄭清煥主任、(2)臺灣省桃園區農業改良場黃益田副場長、(3)臺灣省臺南區農業改良場黃山內場長，其他研究機構部份為(1)中央研究院經濟研究所張靜貞副研究員、(2)中央氣象局農業氣象科廖志翔科長。

經由籌備委員會討論而規劃出12章，再增編為13章。各章設召集人，負責邀請適當人員撰寫預定章節內容。完成之初稿，先經召集人會議詳細研討、修正與補充，各章修正稿再送兩位學者專家審查後定稿，付梓印出前則由召集人及編輯校對。本書採用統一格式撰寫與編輯，並盡心盡力校正，惟錯誤仍在所難免，敬請不吝指正。

參、本書內容

本書規劃成十三章，第一章總論，乃本書之緒言，略述了氣候變遷與農作物生產之交感關係，且摘要各章要旨及敘述本書之編成經過。第二章氣候變遷對全球與臺灣地區氣象環境之影響及因應策略，討論溫室效應及氣候變遷的概況與未來可能趨勢，並提出因應策略期以有助於減緩氣候之變遷。第三章全球氣候變遷對全球及臺灣地區農業生產之影響及因應措施與策略，分別探討糧食作物、特用作物、花卉、蔬菜、果樹等受到氣候變遷之影響，依不同狀況提出因應建議。第四章全球氣候變遷對農作物病害發生影響及因應策略，介紹氣候變遷對農作物病害可能影響與趨向，由其發生、流行、及危害之討論導引出未來因應研究方向。第五章全球氣候變遷對臺灣地區蟲害發生影響及因應對策，強調氣溫改變對蟲害種類、岐異度、族群演變、及農作物危害等影響，並提出因應防治與管制策略。

第六章災害性天氣與氣候對臺灣地區農作物生產影響及因應策略，首先區分農業氣象災害種類及致災之嚴重程度，再逐項說明災害發生季節及對農作物造成的損害，最後以災前預防與災後補救研討因應策略。第七章全球氣候變遷對臺灣地區設施栽培的影響與因應策略，由氣候因素導致農作物生產的不安定性引介設施栽培技術在高經濟價值作物上之應用，簡述設施栽培逆境及其改善措施，並推薦設施栽培的潛在發展與利用空間。第八章作物生產對臺灣地區溫室效應氣體之產生量及減量措施，解說臺灣地區農地溫室效應氣體的排放概況，再由文獻資料推演出減量措施，規劃出未來的因應研究。第九章氧化亞氮對農作物生產之影響及其因應策略，簡介大氣中氧化亞氮濃度之增加及對農作物生產之影響。

第十章二氧化碳、氣溫及紫外線升高對作物生育及產量之影響，分別討論C_3與C_4型農作物對高二氧化碳濃度及溫度之差別反應，另以水稻為例指陳紫外線對生育與產量之影響。第十一章溫室效應及減量措施對農業之經濟影響評估，從「成本」與「效益」相對立場，討論與評估溫室效應對農業生產之經濟影響及溫室效應減量措施之影響，並試對未來農經研究方向提

出建議。第十二章作物生產模式預測，以美國國家研究團(U.S. Country Studies Management Team)採用之氣候變遷模式組中作物生長模式研究，配合作者研究經驗綜合介紹作物生產模式預測，說明其在模擬氣候變遷對農作物生產影響之可能應用。第十三章全球氣候變遷對臺灣地區農作物生產影響的因應研究與調整方向，係本書之總結，針對溫室效應的『因』、造成氣候加速變遷的『果』、及『延伸』對農作物生產的影響，條理敘述與討論，提供產業調適與研究方向調整之參考。

肆、結語與誌謝

文明的進展讓人們的物質生活更加舒適與便利，因而在精神生活要求上也相對的提高標準，環保意識的高漲即為其一。近年來，民眾已注意到溫室效應與氣候變遷衍生出的問題，其與日常生活的相關性及對經濟發展的威脅，而更加的重視能源開發與利用。惟溫室效應與氣候變遷是全球性的、全面性的，需要地球村的全體居民通力合作，各種產業攜手努力，才有解決問題的機會。以溫室效應氣體的減量為第一步是正確的做法，當積極檢討各種排放源的降低方法，提升能源的利用效率，如此才可能減輕氣候變遷的速度。

本書撰稿與編輯期間，承蒙各章召集人與作者鼎力協助與支持，特以申謝。各章召集人均為農業界俊彥之士，望重士林，依章節序分別為：第一章林俊義所長，第二章廖志翔科長、柳中明教授，第三章宋濟民教授，第四章黃益田副場長，第五章鄭清煥主任，第六章朱德民教授，第七章申雍教授，第八章王銀波教授，第九章楊盛行教授，第十章翁仁憲教授，第十一章張靜貞副研究員，第十二章林俊隆教授，及第十三章楊純明副研究員。各章作者均學有專長、術有專攻，因此本書內容豐富、精闢，見解深入而實際，不僅可做為大專院校及研究所輔助教材，亦可供各界參採。

編者深切體認氣候變遷對農作物生產甚至農業的潛在衝擊和實際影響，以及對國家未來整體經建發展的重要關聯。希冀以本書拋磚引玉，激發更多研究人員從事相關的試驗研究，並期以鼓舞跨學門領域的團隊合作，持續而加強溫室效應及氣候變遷的探討。編者同時感佩行政院農業委員會對氣候變遷議題的重視，提供計畫經費(87科技-1.1-糧-08)，使得本計畫執行圓滿，本書得以順利編纂完成。

伍、引用文獻

徐源清. 1995. 臺灣地區農業天然災害損失及因應措施之探討. 臺灣農業 31(3):42-56.

楊純明. 1995. 臺灣地區農業氣象災害(1945-1993)及因應之研究方向. 中華農業氣象 2:31-35.

謝雨生 鄭宜仲 曹崇聖. 1991. 臺灣農業天然災害損失之長期變遷趨勢. 臺灣農業 27(1):20-35.

臺灣農業年報. 1997. 臺灣省政府農林廳出版，中興新村，南投市。

Foss, J. E. 1995. Foreword. p.vii. *In*: Climate Change and Agriculture: Analysis of Potential International Impact. ASA Spec. Publ. No.59. Amer. Soc. Agron., USA.

Chapter 1 Introduction

Chien-Yih Lin and Chwen-Ming Yang
Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung Hsien, Taiwan, ROC

ABSTRACT

The increase of greenhous effect is due mainly to the increasing concentration of radiatively active trace gases in the atmosphere. It accelerates climate change, and induces a number of environmental and ecological problems. As estimated, fossil fuel combustion and forest clearing together promote some 25% increase of carbon dioxide in the air. Other greenhouse gases such as methane, nitrous oxide, and synthetic chlorofluocarbons are also increased significantly recently. These gases tend to trap heat resulting in a global warming and an indirect stimulation of climate change eventually. Agriculture and climate are interactive to each other. Agriculture acts as a possible contributor of greenhouse gases to the atmosphere, while as an industry, is highly sensitive to climatic variables. In considering future food need and security, crop production depends on the stability and predictability of climate change, and on farmers to adapt their practices to changing environment. This book is written, with systematic interdisciplinary studies and findings, by the participating scientists of the research project, namely, 'Studies on Global Climate Changes to Crops Production.' The publication contains thirteen chapters, including literature review, experimental results, and research experience. Issues of greenhouse effect and climate change are of great complexity, but never be too importance. We consider this study to be a preliminary summary yet a promising beginning that requires continuation. It is hoped that by means of this book to encourage intensifying research in studying actual impacts of climate change on crop production, and deriving methodology and practices to mitigate such negative effects.

Key words: Climate change, Greenhouse effect, Crop production, Strategy.

氣候變遷對農作物生產之影響
第2章　全球氣候變遷對全球與臺灣地區氣象環境
之影響及因應策略 7-32, 1998

第二章　全球氣候變遷對全球與臺灣地區氣象環境之影響及因應策略

廖　志　翔
交通部中央氣象局農業氣象科

摘要……8
壹、前言……8
貳、溫室效應氣體變化與趨勢……9
參、全球變遷對全球與臺灣氣象環境影響……13
肆、因應策略……24
伍、結語……27
陸、引用文獻……28
英文摘要……32

第二章　全球氣候變遷對全球與台灣地區氣象環境之影響及因應策略

廖　志　翔
交通部中央氣象局農業氣象科

摘　　要

由於人類活動，增加了大氣中溫室氣體的濃度，加強溫室效應，導致氣候的改變，暖化了地球表面。在此氣候變遷趨勢下，對全球與臺灣地區氣象環境之衝擊與如何因應，是國際間及我國必需面臨的問題。本文主要的目的在回顧近年來有關這方面的研究與報告，並對因應之道提出一些建議。首先討論大氣中溫室效應氣體濃度變化及未來預估的可能排放量，其次探討全球與台灣歷年來氣候變化情況。過去一世紀以來，全球平均氣溫已上升約0.6℃，海水位上升約10～20公分，未來在二氧化碳濃度倍增下，估計全球氣溫與海平面將持續上升。氣候變異性所致的災害性天氣頻率將增加也將趨於更嚴重性，如此氣候環境的明顯改變，不但影響農作物的生產，也將對水資源管理與糧食穩定性造成衝擊。最後提出對溫室氣體排放減量，尤其是能源、森林及農業的控制措施，以及氣候研究與預測，水資源的永續發展與海岸變遷等因應策略。

關鍵詞：溫室效應氣體，氣候變遷，氣候變異性，永續發展。

壹、前　　言

人類歷史是一部不斷與自然環境爭奪資源的對抗史，人類與自然環境的相互影響變動，由早期的原始時代，轉入農業時代，再進入工業時代，即將邁入廿一世紀永續發展時代。隨著經濟發展與人口成長，由於能源消耗(化石燃料燃燒)，工業過程(氟氯碳化物生產與使用、廢棄物的填土、水泥製造)，土地使用的改變(採伐森林、生質燃燒)以及農業耕作(稻米生產、肥料使用、畜產)等各式的人類活動，改變了大氣中溫室氣體的濃度，進而影響地球的氣候。大氣中的二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)、氧化亞氮(N_2O)、氟氯碳化物(CFCs)等主要溫室氣體，吸收由地表放出的紅外線輻射，產生溫室效應而暖化了地球。科學界均認為溫室氣體增加，應會加強大氣的溫室效應，導致氣候的改變，使得地表氣溫上升(Bolin *et al.*, 1986; Ramanathan, 1988)。人為排放之溫室氣體加強溫室效應，這些氣體因人類活動而逐漸增加，已被視為對氣候有極大的威脅。

大氣中溫室氣體的持續上升將會對地球物理、水文及生物環境的循環造成一定的干擾。這些干擾所造成的改變，尤其是在氣候上的改變，對地面上的有機或無機活動的影響，絕不僅限於局部(local)或區域(regional)的問題，而是全球性的問題，更甚之，對生命的永續性亦可能造成巨大

的衝擊和傷害(梁等，1997)。21世紀預期全球人口將持續增加，能源消耗亦將同步增加，全球氣溫將因大氣中溫室氣體濃度的持續增加而上升，因此科學界普遍預期全球氣候暖化將持續，氣候變異增大。依據聯合國政府間氣候變遷委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 1996年的評估報告指出，人類活動所排放的溫室氣體若不採取任何防制措施，預估於2100年時全球平均地面氣溫將比1990年上升1.0～3.5℃，海平面也將上升15～95公分。其後果將是氣候系統發生變遷，導致暴雨或乾旱的極端事件頻傳；區域降水型態發生變化，造成水資源分配不均或不足；生態環境遭受到破壞，改變區域動植物生長分佈與生態平衡，對全球糧食的穩定性與農業的永續性，造成相當干擾與限制。同時海水位上升，不但使海島國消失，且易導致低窪地區海水倒灌，積水不退；海流改變，漁場轉移(謝，1997)。

由於人類活動所引起的氣候變遷(climate change)，近年來成為大氣與地球科學界研究的重要題目，也獲得一些重要的結果。但是，整個全球氣候變遷的推估，仍存在著許多不確定性與問題，有待科學家更深入的研究與探討，以減少不確定性。為了明確估算未來全球氣候變遷的變化尺度，以了解氣候改變的影響程度及對環境的衝擊有多大，以便謀求解決與適應之道，就需有密集的觀測網，作有系統的長期觀測；偶合大氣圈-地圈-生物圈-海洋圈等全球模式，發展高解析度預測模式；以及確定未來人文社會變動、生態系結構改變、環境控制與重整、工商活動等複雜的社會與經濟因素，才可能較清楚的描述氣候變遷的變化尺度。

本章節僅就全球氣候變遷對全球與臺灣地區氣象環境之影響有關這方面的報告與研究做一回顧。因溫室效應氣體增加，會干擾與破壞氣候系統，因此本文首先探討溫室氣體的變化及未來趨勢，然後從氣候的改變、災害性天氣、海平面上升等氣象環境的衝擊方面作一描述，並對有關這方面的因應策略提出一些建議。

貳、溫室效應氣體變化與趨勢

一、溫室氣體排放

如果地球表面沒有大氣層存在，則地表上的熱平衡就完全仰賴輻射的作用，太陽短波輻射加熱地面，而地球表面卻因輻射長波紅外線而冷卻。當兩種輻射達平衡時，估計地球表面的平均溫度大約是-18℃。但是由於地球表面有大氣層存在，大氣層裏含有吸收紅外線輻射的氣體，這些氣體吸收紅外線輻射後，有部分的輻射會再返回地球，使地球表面增溫，地球表面猶如覆蓋在一層玻璃罩下，形成所謂的溫室效應(greenhouse effect)。由於溫室效應的存在，使地球表面的平衡溫度為15℃，遠高於-18℃。而會吸收紅外線的氣體稱為溫室氣體(greenhouse gases)。大氣中主要的溫室氣體有水汽(H_2O)、二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)、氧化亞氮(N_2O)、臭氧(O_3)及氟氯碳化物(CFCs)等氣體。就是這些溫室氣體，長期以來使地球表面溫度能保持在此適合生物生存的溫度。

上述的溫室氣體中，水汽在本節中並不討論，主要是水汽含量和天氣系統有密切的關係，它隨時間、空間變化很大，受人為影響很小，且平均壽命很短，故以全球尺度及較長尺度的平均而言，其濃度變化不大。大氣中CO_2、CH_4、N_2O及CFCs等溫室效應氣體，只有氟氯碳化物為人為製成，其他的溫室氣體有天然存在及人為排放，它們在大氣、海洋及生物圈之間不斷的進行交換，且在大氣中之生命期很長，所以能在對流層內均勻混合。IPCC (1990)曾比較CO_2、CH_4、N_2O、CFC-11與CFC-12等氣體，在1990年的大氣濃度下，受到微小變動之單位分子的輻射作用量(radiative forcing)，並以CO_2為準，得彼此之間的比值為1：21：206：12400：15800。雖然

這些溫室氣體的溫室效應比二氧化碳強，但其濃度比二氧化碳低。因大氣中二氧化碳含量較高，因此對全球暖化的影響以CO_2最大，約佔55% 左右，而其他約一半的貢獻則來自於這些氣體。全世界每年CO_2的排放約64億萬噸，美國佔19.37%，歐洲18.54%，獨立國協(早期蘇聯)佔12.90%，中國大陸佔7.68%，臺灣佔0.44%。CH_4每年排放3.5億萬噸，中國大陸佔14.87%，歐洲佔10.79%，美國佔9.29%，臺灣佔0.18%。N_2O每年排放378萬噸，美國佔19.98%，歐洲10.07%，中國大陸佔6.03%，臺灣佔0.21%。CFCs每年的排放約65億萬噸，歐洲佔36.86%，美國佔24.67%，獨立國協佔10.76%，臺灣佔0.14% (Subak *et al.*, 1993)。謝(1997)利用IPCC準則估算1990年臺灣的溫室氣體排放總量為149百萬噸二氧化碳當量，其中二氧化碳排放量佔83%、甲烷佔15%、氧化亞氮佔2%。而在溫室氣體排放源以「能源使用」為最大，佔78%，農業僅佔約6%。

(一)二氧化碳(CO_2)

二氧化碳是大氣中含量最多及最主要的溫室氣體。在各種溫室氣體中，二氧化碳造成的問題最嚴重，且是目前科技水準最難解決的一種(柳中明等，1997)。它在大氣中的生命期長，約50至200年(IPCC，1990)，其生成主要來自化石燃料(fossil fuel)的利用及燃燒。由於化石燃料燃燒，土地使用改變(例如開伐森林等)，海洋與陸地生物圈吸收間之差距，而使大氣中二氧化碳濃度逐漸增加。自工業革命以來，由於人類大量利用及燃燒化石燃料，導致大氣中二氧化碳濃度大幅增高，工業革命前(西元1750年～1800年)大氣中的二氧化碳濃度大約為280ppmv，十九世紀後則呈直線的增加，目前約353ppmv，每年以1.8ppmv之速率增加(IPCC，1990；1992)。由極區冰柱中空氣樣品及大氣的量測，自工業革命以來，二氧化碳濃度增加約25% (圖1)。

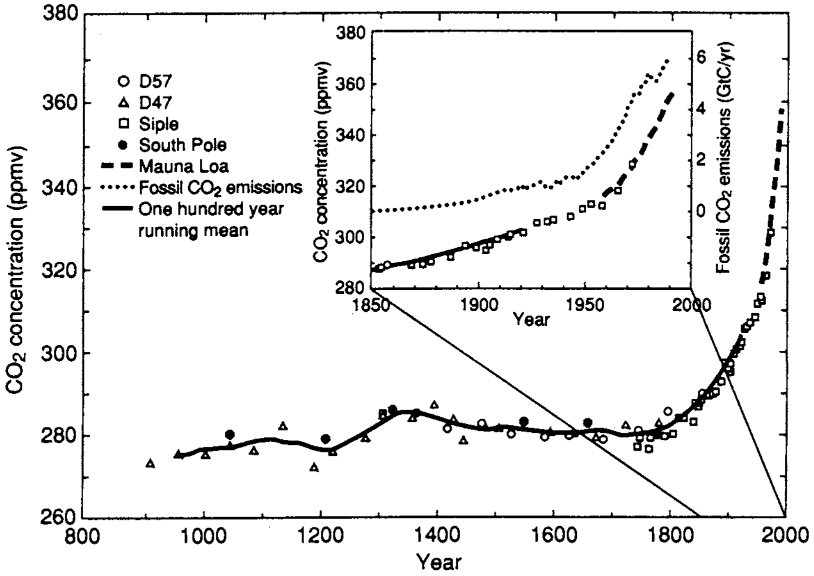


圖1. 近千年來二氧化碳濃度變化，資料來自冰柱(D47, D57, Siple及南極)與Mauna Loa的量測(1958年起)。直線為百年移動平均，圖中插圖是1850年至今，CO_2濃度變化與化石燃料排放CO_2的比較(IPCC, 1992)

季節性變化隨緯度之不同有相當大的差異，在北半球高緯度最大，向低緯度而遞減。觀測顯示，自從1958年以來增加約20％，每年之增加率約為1.5ppmv。近十年來臺灣地區二氧化碳的總排放量由1987年的91百萬公噸，逐年上升到1996年的171百萬公噸，每人平均排放量由4.6公噸增加至目前的8公噸。(謝，1997)。

㈡甲烷(CH_4)

甲烷是僅次於二氧化碳的重要溫室效應氣體，1990年甲烷在大氣中濃度為1.72 ppmv，而工業革命前之濃度僅有0.8ppmv，年增率為0.015ppmv。圖2為極區冰柱中空氣樣品及大氣量測所得之濃度變化，在最近200年來，甲烷濃度增加約1倍以上。而根據分析報告，近十年來大氣中甲烷濃度之增加已趨緩(WMO，1992)。1970年代每年增加20ppbv或1.3％，而1980年中期每年增加12-13ppbv或0.75％，1989年年增加減為10 ppbv或0.6％，1992年年增加降為僅5ppbv或0.3％。其減少原因可能係由於自然或人為排放降低所致。甲烷濃度在南半球中高緯度變化不大，濃度則向北增加，北半球高於南半球，在北半球高緯度地區濃度最高。甲烷自然界的主要來源有自然溼地、野生反芻動物(ruminants)、白蟻(termites)及海洋與淡水湖泊。而人類活動所致如化石燃料生產(煤礦、天然氣開採)，水稻田耕作、生質燃燒、家畜養殖、有機物發酵作用及填土(landfills)是大氣中甲烷的主要來源。甲烷主要匯(sink)是在大氣中與OH基反應。臺灣地區1990年由產煤所逸出之甲烷為38.71千公噸，油氣所排放的為33.97千公噸，生質燃燒所排放之甲烷為6.95千公噸，共計 79.63千公噸(楊等，1994)，農業生產排放之甲烷為 6.96千公噸(謝，1997)。

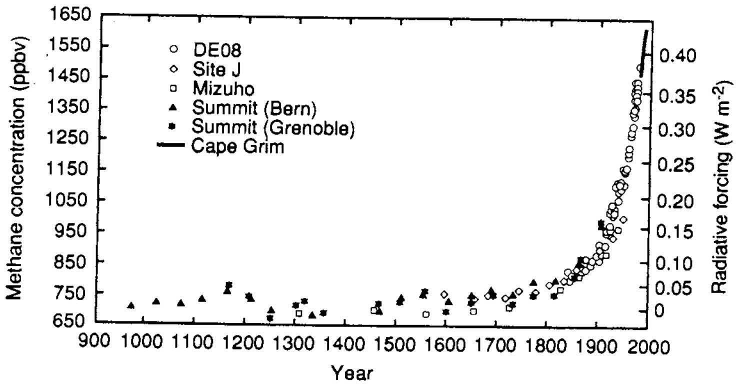


圖2. 近千年來大氣中甲烷濃度變化(IPCC, 1992；楊盛行, 1995)

㈢氧化亞氮(N_2O)

氧化亞氮目前存在大氣中是很微量的，但是為一長存的溫室氣體，生命期約150年，目前濃度約為310ppbv，比工業化前的288ppbv增加8％，每年以0.8ppbv或0.2-0.3％增加。根據極區冰柱中空氣樣品分析及大氣量測結果(圖3)知，1600～1800年之工業化前氧化亞氮濃度一直維持在285pp bv左右，然後在1940年以後其濃度開始快速增加。氧化亞氮的時空變化均小，在北半球的濃度高於南半球，但兩半球間差距僅約1 ppbv。由於缺乏N_2O通量(fluxes)量測以及生物地球化學交換作用與土地狀況的複雜性，大氣中氧化亞氮的源與匯是很難精確的

定量它。N_2O的自然源主要來自天然土地過程與海洋，而主要人為來源為化石燃料燃燒、生質燃燒及施肥。然而N_2O在平流層中因與氧原子之化學作用而分解。臺灣地區生質燃燒所排放之氧化亞氮共計約0.09千公噸(楊等，1994)，農業生產排放之氧化亞氮約1.85千公噸(謝，1997)。

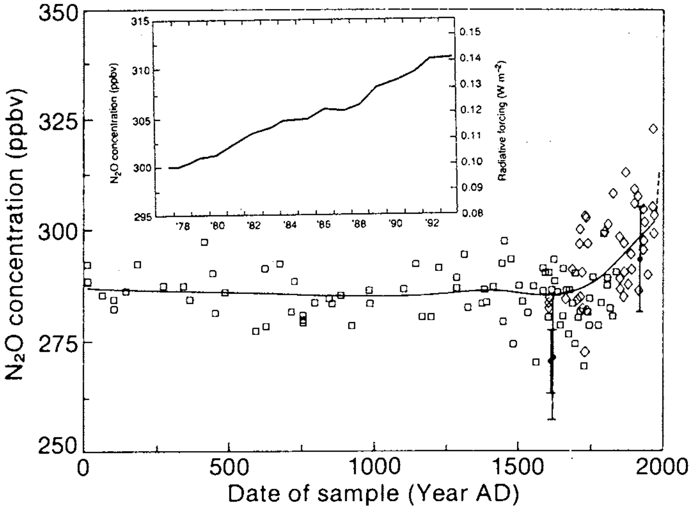


圖3. 近千年來大氣中氧化亞氮濃度變化(IPCC,1992；楊盛行,1995)

(四)氟氯碳化物(CFCs)

氟氯碳化物完全是工業時代的產物，能破壞平流層的臭氧，是氟、氯和碳的化合物，主要為CCl_3F (CFC-11)、CCl_2F_2(CFC-12)、$C_2Cl_3F_3$ (CFC-113)與CCl_4，其在大氣中的濃度分別為280pptv，484pptv，60pptv和146pptv，在北半球濃度高於南半球，它們生命期很長均高達50年以上。近十幾年來，CFC-11和CFC-12成長速率驚人，在大氣中濃度增加近100% 。CFC-13增加約30% ，CCl4增加20% (IPCC，1990)。CFCs主要使用當作煙霧質推進燃料(CFC11, 12, 114)，冷煤(CFC12, 114)，發泡包裝劑(CFC11, 12)和溶劑(CFC113, CCl4)。CFCs在平流層中會因化學反應而解體。CFC s和HCFCs(氫氟氯碳化合物)因受蒙特婁公約的管制，目前之濃度年增率已有下降的趨勢。取而代之的是氫氟碳化合物(HFCs)、全氟碳化合物(PFCs)與六氟化硫(SF6)。

(五)臭氧(O_3)

由於大氣中的臭氧層能吸收太陽輻射中的紫外線，因此臭氧的減少，會使得到達地面的紫外線輻射強度增強。依據WMO (1994)及Bojkov (1995)的分析，全球總臭氧量在過去15年以來減少5% 。平均而言，北半球約減少6.5% ，南半球約9.5% ，主要在低平流層(30公里附近)減少，且以南極上空減少最多。同樣地，在北半球高緯度亦出現總臭氧量減少的情形，赤道地區則減少較少。Bojkou *et al.* (1993)指出，1992-1993年冬天，北半球高緯度出現紀錄以來的最低總臭氧量，約較過去減少15% ，此現象在1993-1994年冬天減緩。但是，1994-1995年冬天又恢復減少，其範圍較1992-1993年冬天為廣，有些地區總臭氧減少達25% 。在這之前，1994年10月南極上空出現紀錄以來的最低總臭氧量(Kerr, 1994)。以上顯示，全球平流層臭氧減少的趨勢仍在持續，且範圍仍在擴大。而臺灣上空近十餘年來亦觀測到有逐漸減少的現象(陳及張，1997)。

二、溫室氣體未來濃度變化預測

使用各種不同的模式推估未來溫室氣體的變化是目前科學家採用的方法，但是要精確地推估是相當困難的，得視經濟發展、技術的改變以及地球-大氣系的物理、化學與生物過程而定。由於世界經濟成長、能源價格與使用情況、土地利用狀況以及技術的改變情況等因素的不確定，預測結果也就有所差異，也具有不確定性。Lashof and Tirpak(1990) 使用四種不同情景(scenarios) 模式推算主要溫室氣體在下一世紀的濃度變化，到了公元2050年，CO_2 濃度將達410～540ppmv，CH_4 濃度為1.8～3.1 ppmv，N_2O為330～360ppbv，CFCs為 0.3～1.4ppbv。若與Dickinson and Cicerone (1986) 預估結果比較(表1)，估計值雖稍低，但兩者預測是相當接近的。IPCC(1990) 也使用各種不同情景模式推算至公元2100年大氣中人為排放溫室氣體的濃度，若以目前排放量計算，則估計到2050年二氧化碳將增加至415～480ppmv，公元2100年二氧化碳預估將達460～560ppmv。至於臺灣未來二氧化碳的總排放量，預估在2000年為223百萬公噸(較1990年排放量增加98%)，2005年為261百萬公噸(增加132%)，到了2010年將高達294百萬公噸(增加162%)。人均排放量在2000年為9.97公噸(較1990年排放量增加80%)，2005年為11.21公噸(增加102%)，到了2010年將高達12.14公噸(增加119%)。以這種年平均成長率來看，臺灣將成為全球二氧化碳成長最為快速的排放源 (謝志誠，1997)。至於平流層臭氧未來變化，IPCC (1990) 根據模式預測，若無採取適當的減量措施以及包含異質(heterogeneous) 化學反應過程下，則到2060年平流層臭氧預期將減少25% 至50%。當然如此臭氧的改變，仍需視未來CFCs及其他溫室氣體排放量而定。

表1. 公元2050年溫室氣體濃度估計值比較(Lashof and Tirpak, 1990)

溫室氣體	Dickinson & Cicerone(1986)	SCW	RCW	SCWP	RCWP
二氧化碳(ppm)	400-600	490	540	410	420
甲烷(ppm)	2.1-4.0	2.8	3.1	1.8	1.9
氧化亞氮(ppb)	350-450	360	360	330	340
CFC-11(ppb)	0.7-3.0	1.2	1.4	0.3	0.3
CFC-12(ppb)	2.0-4.8	1.2	1.4	0.6	0.7

SCW: Slowly Changing World
SCWP: Slowly Changing World with Stabilizing Policies
RCW: Rapidly Changing World
RCWP: Rapidly Changing World with Stabilizing Policies

參、全球變遷對全球與臺灣氣象環境影響

全球環境變遷不僅是大尺度(scale) 的現象而且也是極具有區域特性的，目前大家所關切的是我們生存的環境是否有了變化。「由於人類活動所引起的氣候變化在這幾年裏成為大氣科學研究的重要題目。大部分的資料分析研究大都集中在溫度的變化，少部分則集中於降水的變化，積雪和覆冰的的變化以及海面變化」(吳明進，1992)。溫室氣體濃度的增加，很顯然的未來將改變地球的氣候，環境與生態系統將受嚴重威脅。

而確實的影響程度及時間，將視未來溫室氣體排放、其他氣候作用量(forcings)的改變以及氣候系統對干擾的敏感性而定。

一、氣候的改變

(一)氣溫

1. 全球氣溫變化與預測

觀測與古氣候證據顯示，由過去幾百萬年以來到最近幾年，地球上氣溫已有所變化。過去200萬年間，全球平均表面氣溫約有5℃至7℃的變化。而大約1萬年前，全球平均表面氣溫大約在2℃間上下變動，這期間出現有二次較暖期，一次約在距今5000～6000年前，另一次發生在西元950～1250年，然後在西元1400年後進入小冰期。再從最近100多年來氣溫顯示(圖4)，1940年代處於低溫期，1975年以後氣溫就明顯上升，1980年以後，全期進入暖期，5個高溫年均出現在這年代以後。自1860年以來全球氣溫已上升約0.6℃。此一全球增溫趨勢，在區域與季節而言，冬季較夏季明顯，而高緯度地區也較低緯度明顯(IPCC, 1990)。至於全球平均日最高溫與最低溫變化方面，1950年來全球增溫主要出現在夜晚，所以平均日最低溫上升幅度高於最高溫，因此平均日溫差持續下降，同時由表2顯示，增溫冬季高於夏季(柳中明，1997；Easterling, 1997)。

在考量未來全球溫室氣體持續增加，英國研究單位Hadley Center (1995) 採用全球環流模式(GCM)，估算2100年時全球氣溫將上升3℃，相當於每十年上升0.3℃。另外，IPCC(1990)估計在二氧化碳濃度倍增下，全球平均表面溫度將上升1.5℃～4.5℃，而平流層將降溫。若考量下一世紀全球溫室氣體排放受控制下，IPCC (1996) 估算2100年時全球氣溫將上升1.3℃～2.5℃ (圖5)。

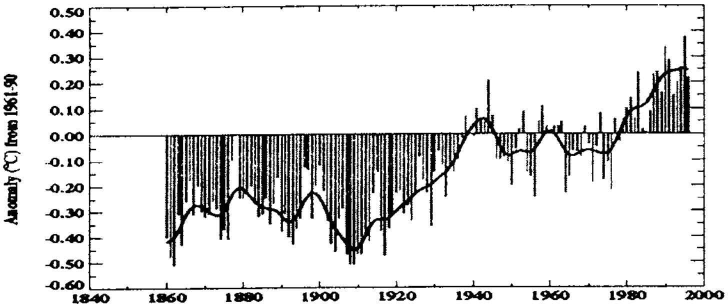


圖4. 1860～1996年間，逐年之全球近地面(包括陸地與海洋測站)氣溫平均值，減去1961年～1990年間全球平均氣溫，所得之長期氣溫距平圖。圖中實線為五年移動平均線(Hadley Center；柳中明，1997)

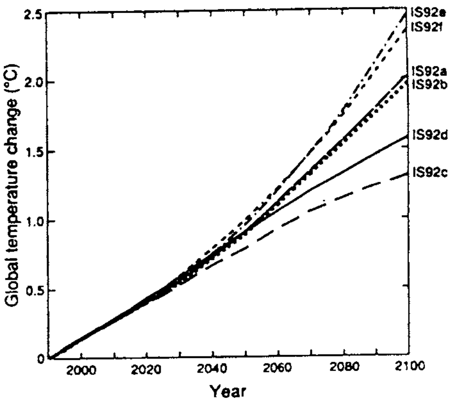


圖5. IPCC(1996) 所預測在不同之未來全球二氧化碳增加情景下，全球變遷在21世紀內之增溫情形

表2. 1950～1993年間全球、北半球與南半球之最高溫、最低溫與日溫差變化趨勢(℃／百年)
(Easterling,1997；柳，1997)

季節	趨勢(℃/百年)					
	最高溫		最低溫		日溫差	
			全球			
12月～2月	1.10	(1.31)	2.48	(2.76)	-1.35	(-1.37)
3月～5月	1.25	(1.17)	2.26	(2.27)	-1.04	(-1.09)
6月～8月	0.47	(0.40*)	1.13	(1.12)	-0.65	(-0.69)
9月～11月	0.05*	(-0.01*)	0.94	(0.98)	-0.89	(-0.92)
			北半球			
12月～2月	1.26	(1.52)	2.74	(3.04)	-1.44	(-1.48)
3月～5月	1.39	(1.29)	2.28	(2.30)	-0.90	(-1.01)
6月～8月	0.25*	(0.25*)	1.05	(1.04)	-0.79	(-0.77)
9月～11月	-0.12*	(-0.01*)	0.72*	(0.83)	-0.84	(-0.90)
年	0.77	(0.87)	1.74	(1.84)	-0.89	(-0.89)
			南半球			
12月～2月	0.66	(0.62)	1.61	(1.66)	-1.00	(-0.93)
3月～5月	0.59*	(0.55*)	1.98	(1.97)	-1.37	(-1.31)
6月～8月	1.27	(1.18)	1.41	(1.40)	-0.08*	(-0.12*)
9月～11月	0.69*	(0.84)	1.74	(1.69)	-1.08	(-1.02)
年	0.91	(0.84)	1.81	(1.80)	-0.59	(-0.60)

*沒有達到95%統計顯著度(t檢定)

2. 臺灣地區氣溫變化與預測

圖6為臺灣各氣象站近百年來年平均氣溫的變化。自1897-1920年間是本省有紀錄以來之低溫期。此後氣溫即逐漸上升，至1950年代達最高點後，普遍略有回降的現象，至1970年代各站升降不一，到1980年代後有較大氣溫升高現象，而大城市增溫較小市鎮及高山離島顯著。至今氣溫大約升高1℃(中央氣象局，1994)。在平均日最高溫與最低溫，長期而言，均有一緩慢上升趨勢(圖7)，但最低溫比最高溫上升趨勢明顯(沈等，1998)。而全省各月氣溫變化，上升趨勢最明顯的為夏季(五月及七月至十月)，但冬季上升趨勢較不明顯(十二月及一月)。由於冬季及夏季溫度趨勢的差異，使得冬夏季間的年較差增加。由以上資料顯示，臺灣年平均氣溫升高趨勢，與全球變遷暖化趨勢是一致的，但在季節變化上，台灣夏季較明顯，而全球是冬季較明顯，「由此可見全球變遷的大趨勢中，臺灣氣候的變化有它獨特的結構」(吳，1992)。

「大致上，全球正邁向暖化的看法，已多為科學界所接受。但是在暖化過程中，各地氣候改變情形，則受限於目前電腦模擬程式的能力，並無法明確模擬成功，特別是像台灣這麼小尺度的探討方面」(許，1997)。利用全球環流模式模擬結果(環保署，1994)，預估2050年時臺灣地區冬季氣溫約有3.5～4℃，夏季3～3.5℃的上升趨勢。梁等(1997)使用Simmeteo的蒸發散量動力模式

，模擬當二氧化碳濃度加倍時，臺灣溫度上升約1.9～4.9℃。平均最高與最低氣溫方面，台北平均最高氣溫將從25.9℃增至27.8℃，高雄從28.4℃上升至33.3℃；最低氣溫台北從18.9℃上升至20.8℃，高雄從21.5℃上升至23.3℃。除了數值模式外，柳中明等(1994)採用半經驗法，一方面使用全球環流模式所估算得二氧化碳濃度增加達工業革命一倍時，東亞地區之綜觀天氣形態；另一方面採用主觀的長期氣候分析經驗，判斷當時天氣形態下，臺灣氣候變化情形。所得結論是臺灣附近溫度上升約3～4℃，夏季上升幅度大，冬季較小。不過他們認為這個結果應再參考近日的研究資料進行修正為上升約2～3℃。

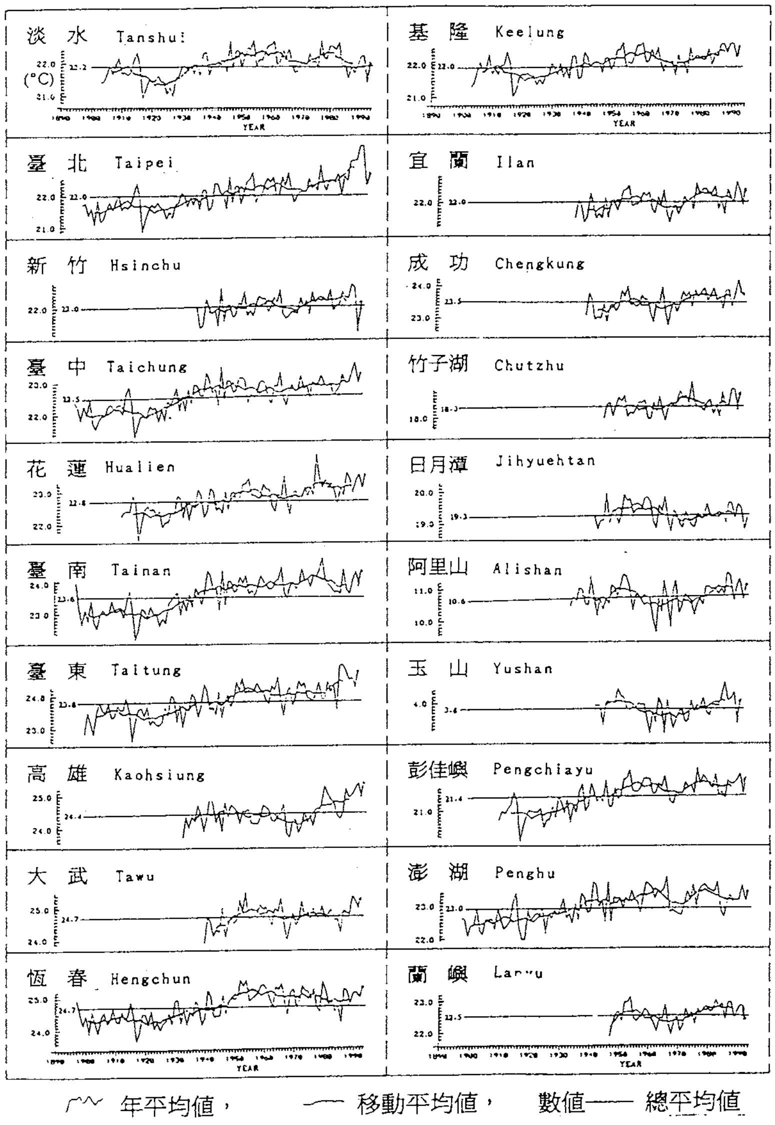


圖6. 臺灣地區各氣象站年平均氣溫變化(中央氣象局, 1994)

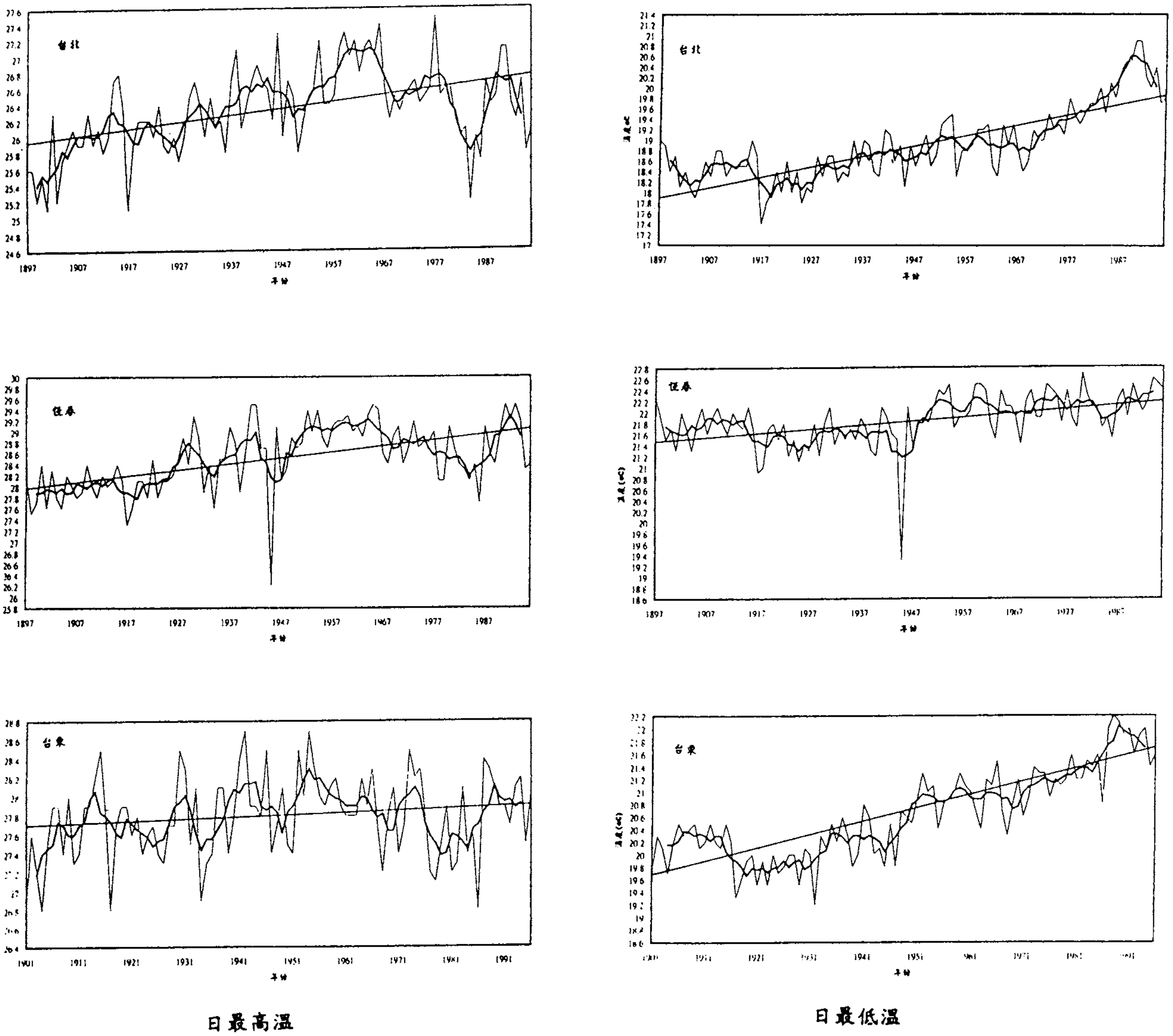


圖7. 台北、恒春及台東等三站，近百年來平均日最高溫與日最低氣溫之變化及迴歸線趨勢圖(沈鴻禧，1998)

㈡降水

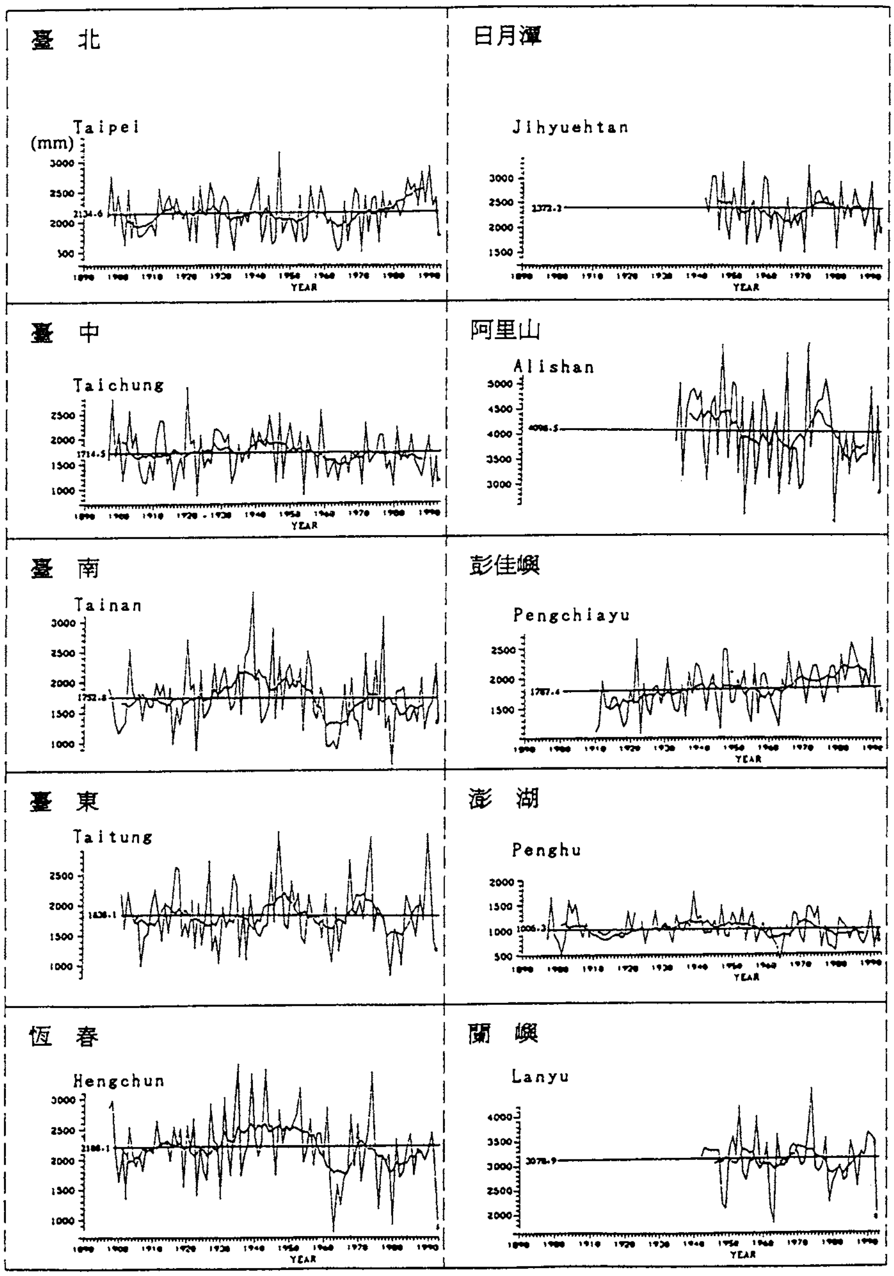
1. 全球降水變化與預測

由於降水隨時間與空間變化很大，因此比氣溫更難監測，且尺度更小，尚不可能推斷全球或甚至半球降水的改變。然而過去百年來資料顯示，某些區域已有變化。降水分析上得到結論為：北半球中高緯度降水增加，副熱帶地區降水減少。在南半球是不分高低緯度降水皆有增加。

至於未來當二氧化碳倍增時，模式預測全球平均降水將增加3～15％，增溫愈大，降水增加愈多。高緯度地區全年降水增加，而中緯度冬季增加，副熱帶乾燥區降水則變化很小(IPCC, 1990)。

2. 臺灣地區降水變化與預測

圖8為臺灣各氣象站年雨量之年際變化，變化趨勢因地點而各不相同，且不同時段有其趨勢變化的特性存在。以近三十年



年平均值， 移動平均值， 數值—— 總平均值

圖8. 臺灣地區各氣象站年平均降水量變化(中央氣象局，1994)

來的資料看，1960年代為雨量偏少年代，1970年代南部雨量增加，而其他地區變化不大。至1980年代以後，北部及東部年雨量增加，但1990年起則有減少的趨勢。而中南部由1980年代以後並無顯著變化的情形，但是處在較少雨的情況。因此由歷年變化趨勢，全年降水在東部、北部增加(約5%)而西南部減少(約10-20%)的情形(中央氣象局，1994)。在季節變化方面：降水量在冬季東部、北部增加，而中南部略減；春季各地降水量減少；梅雨季早期減少而後期增加；夏季各地降雨量減少；秋季東部增

加，中南部減少(吳，1992)。

至於未來當二氧化碳濃度倍增時，降水變化又如何？模式模擬結果(梁，1997)年降水量將約略增加2%，夏季增加而冬季減少。環保署(1994)亦預估2050年時，降水量在冬季少約5～10%，夏季則增加5～10%。柳等(1994)亦預估CO_2倍增下，冬雨與梅雨降水量將減少。劉及曾(1998)使用氣候模式模擬，臺灣冬季降雨量亦有減少的相同結果。

㈢溼度與蒸發量

臺灣地區年平均相對溼度近卅年來除高山離島外，普遍下降了2-5%。至於蒸發量的長期變化，就其近十年之趨勢看，約下降了有100-400公厘之不等量(中央氣象局，1994)。這二項氣象要素的變化都有減少趨勢。模式預估，在二氧化碳倍增下，全球平均蒸發量將增加3～15%(IPCC, 1990)，全球對流層中水汽含量也將增加20%～33%(Hansen *et al.*, 1984; Trenberth *et al.*, 1987)。雖然溫室氣體增加對氣象影響是增加大氣溫度，提高陸地及海洋水份的蒸發速率，增加空氣中的水汽。然而這些影響不是一個平均分佈的地理現象，且其影響程度將隨各地的環境而有所不同。雖然環境問題是全球性的，但區域上本身也具有自己氣候上的特性。且影響氣候因素也不是單一作用，而是要多方面考慮的。

㈣紫外線輻射

圖9為設置於中央氣象局所屬的台北及成功兩氣象站之布魯爾分光光譜儀1993年至1996年紫外線輻射量月平均趨勢變化。從圖中可知紫外線輻射的季節變化是很明顯的，一般而言，以夏季的7月最高，冬季之12月或1月最低。而成功的月平均值皆大於台北。月平均的最大值出現在成功1996年7月，其值為5366.8焦耳／平方公尺，而台北的月平均最大值從1993年起，有逐年增加之趨勢，1996年7月為3704.9焦耳／平方公尺。而月平均最小值是出現在台北1993年12月，其值只有651.5焦耳／平方公尺，且台北及成功二站之紫外線輻射的月平均最小值從1993年起，皆顯示逐年增加的趨勢(陳及張，1997)。

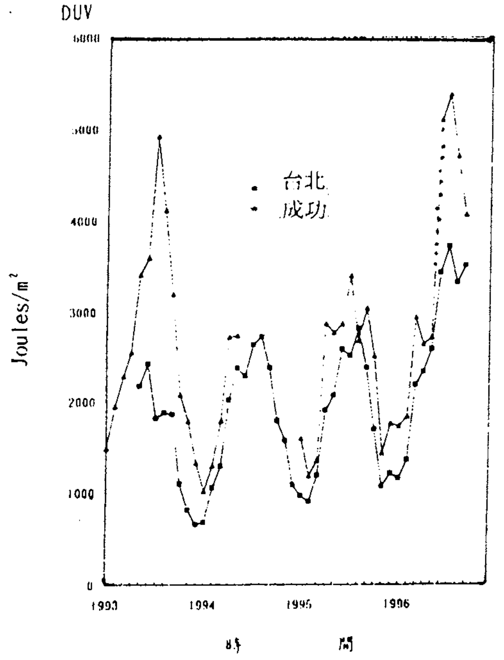


圖9. 1993年-1996年間台北及成功兩測站月平均紫外線輻射之變化(陳及張，1997)

由以上的評估報告，可歸納出未來氣候的變化：全球有暖化的趨勢，而這趨勢以高緯度較低緯度、冬季較夏季明顯，而且可能有一因氣候變化引起的降水區移動的趨勢。在北半球溫帶和極區降水增加，熱帶地區有降水減少趨勢，在南半球有降水增加趨勢。至於臺灣地區的氣候有可能變為高溫及冬乾夏溼的氣候型態。

二、災害性天氣

在探討氣候變遷的問題中，除「氣候暖化」的研究與衝擊受到重視，「氣候變異性」(climate variability) 所導致的災害性天氣更格外引起國際間的注意。變異性與異常事件頻率的改變可能比平均氣候改變有更多的衝擊，尤其是異常氣候所造成的損害可達相當嚴重的影響。以最近數年內全球某些地區與臺灣本島所出現的多次破記錄異常氣候現象為例，就可發現氣候變異性所致的災害性天氣，更會在短時間內，危害人們的生命財產，並對整個社會之整體經濟建設造成相當大的危害。

在國際間，近年來各地豪雨、洪水出現頻繁；同時乾旱、飢荒問題不斷。以最近三年為例，1996年元月初，美國東部發生大風雪，爾後的大雨與融雪，導致嚴重的水災。接著中旬在中西部遭遇暴風雪侵襲。北韓夏天則遭受歷年來最嚴重的水災。7月底至8月初，臺灣地區遭受賀伯颱風侵襲，造成近550人死亡、失蹤與受傷，約200億農業損失，無以數計的房屋、橋梁、道路、堤防等遭土石流、海水暴漲等沖垮破壞，為近卅年來傷亡最慘重的風災，同時阿里山的日降雨量也創歷史新高。而1997年，北韓發生史上罕見的乾旱與高溫，造成嚴重的糧荒。而這年全球表面的氣溫也創有紀錄以來最暖的一年。3月底歐洲及俄羅斯發生暴風雨，導致10人死亡；4月初美國東北部受暴風雪侵襲；4月及6月中國大陸的豪雨，導致近200人傷亡；臺灣地區則在6月中旬、7月初及8月7日等一連串的豪雨成災，造成相當嚴重的災情；接著8月的溫妮颱風，造成大台北地區房屋坍塌等重大傷亡；8月底安珀颱風來襲，造成農業損失達10億元以上；9月，因印度洋東岸及印尼的旱災，引發延燒蘇門答臘和婆羅州森林大火，導致東南亞地區歷年來最嚴重的霾害；12月美國南加州又暴雨成災。至於1998年，年初日本東京及周遭平原地區受大風雪侵襲，造成2人死亡，500多人受傷；美國東北部及加拿大東部發生冰暴；中東地區受到6年來最大的暴風雪侵襲。而臺灣在2月竟遭受罕見冰雹及龍捲風的摧殘，造成高達13億多元的農業損失。

在臺灣，大家比較關心的災害性天氣，主要是來自於颱風、豪雨、乾旱與寒潮等四大氣象災害。其中，颱風方面主要在掌握其進行路徑、強度變化、侵襲區域與風雨災等災害預測。乾旱方面，乾旱雖導源於長時間內大氣環流之異常，臺灣主要為需求性乾旱，也即是供水需求逐年增加下，自然降雨卻未同步增加，所形成的乾旱現象。另一方面，臺灣因中央山脈縱貫南北，地形因素，使西南部地區於每年十月至翌年四月間呈現少雨的乾季，若春雨不顯著則春季乾旱的機會勢必浮現。再者，若當年梅雨不顯著或沒有颱風帶來足夠的雨水，則全省將普遍呈現乾旱現象，造成嚴重缺水，因此基本上水資源有效的管理與分配顯得重要。寒潮方面，全球暖化增暖下，模式顯示，中高緯度及冬季變化較明顯，如此推論，寒潮發生頻率可能減少，但其變異性將加大。寒潮定義因地而異且寒潮的爆發與極地高壓及鋒面過境有密切關係，隨綜觀尺度大氣環流而變，其源地與路徑也會造成不同的影響。而在豪雨出現頻率方面，柳等(1994) 分析1900年至1994年11月中央氣象局所屬各地面氣象站資料，各站所曾經出現之最大三次暴雨的日期，再將這些資料以時間系列，計算每5年內雨量曾經出現最大三次豪雨的頻率，結果顯示，無論平地、高山與離島測站，豪

雨出現頻率約自20世紀初的2% ，不斷上升至近期的18% 。類似的分析結果在日本(Takedo, 1993) 、美國(Bruce, 1994) 均被提出，即近年來各地出現豪雨的機會愈來愈高，其可能造成的危害性將趨於嚴重。

至於未來在二氧化碳倍增下，氣候變異性的改變將如何？IPCC (1990) 綜合各種模式的預測結果如下：天氣逐日變化的改變不確定，但是高溫事件未來將更頻繁；平均降水增加的地方，降水變異性增加，反之，變異性減少(Wilson and Mitchell, 1987; Rind *et al.*, 1989) 且對流性降水頻率增加(Noda and Tokioka, 1989) ；因低層南北溫度梯度的減少，冬季中緯度風暴日與年際變化可能減少；模式模擬顯示，若熱帶地區海水溫度上升，熱帶風暴(颶風、颱風、氣旋) 發生頻率、強度與產生區域可能增加,但此結果尚未有一致性的結論(Emanuel, 1987; Merrill, 1988) 。此外，降雨型態改變也可能導致洪氾或乾旱發生機會增加(楊，1993) 。

近年來聖嬰現象(El Nino) 受到大家的注意，因為它的發生對全球氣候的影響甚鉅。聖嬰原先視為是南美洲沿岸從厄瓜多爾到秘魯海面海水溫度突然增暖的一種現象，現在已廣泛地視為發生在赤道東太平洋地區海水溫度異常增暖的現象，一般約二至七年間會發生一次，當聖嬰發生時，赤道東太平洋海面水溫突然上升，而後持續一段時期，這種現象在南半球的初夏(十二月) 特別顯著，總在聖誕節前後發生，當地原來盛行的冷洋流不見了，海面升高，湧昇流 (upwelling) 減弱，魚兒因缺少食物而他遷或死亡，鳥類也因而絕跡，當地居民賴以維生的資源一下子枯竭，由於此暖洋流的出現，常在耶穌誕生時來臨或達最高潮，所以稱為聖嬰，為西班牙語「上帝之子」的意思。20世紀初氣象學者Gilbert Walker發現澳洲達爾文 (12.4°S，130.9°E) 與南太平洋的大溪地(17.5°S，149.6°W) 間的海平面氣壓呈現相關性極強的互動變化，展現一種蹺蹺板上下振盪 (seesaw) 作用，稱之為南方振盪 (Southern Oscillation) 。當聖嬰現象發生時，許多地區的氣候變動，似乎都符合南方振盪的關係，因此乃合稱之為聖嬰 / 南方振盪 (El Niro-Southern Oscillation) 簡稱ENSO。因此ENSO乃是一種在熱帶太平洋地區結合海洋與大氣變化的現象。ENSO發生時，除對低緯度地區東、西太平洋沿岸國家帶來異常或劇烈的天氣變化，導致災害外，甚至牽連到地球上其他地區，較明顯的影響有：南美洲豪雨，澳洲、印尼、菲律賓、非洲南部與衣索匹亞等有乾旱發生，美國西海岸風暴增多，常導致加州豪雨與大風雪，加拿大西南部及東部通常較暖和，獨立國協的暖冬等。至於聖嬰對臺灣的影響，聖嬰與臺灣地區冬天的溫度、侵台颱風頻率及春天的雨量有較明顯的關係。聖嬰年冬季平均氣溫偏暖機率較高，但各個月份氣溫不一定都偏暖，其中以十一月、十二月機率最高，其他月份冷暖發生機率相差不大。颱風侵台數在聖嬰年有偏少趨勢 (Chang, 1996) 。在春雨方面，若冬季是處於較強的聖嬰狀況時，則次年二、三月臺灣地區降雨偏多，春雨會較明顯(廖，1995；吳，1996) 。ENSO的發生因為海溫上升幅度的不同，可歸納為弱ENSO或強ENSO。歷年來以1982-1983年所發生的ENSO現象最強，而1997-1998年發生的ENSO至目前為止，其強度並不亞於1983年。而近年來ENSO發生頻繁，原因至今仍不清楚，有待大氣科學家進一步的研究探索。

近年來，國際間透過密切的合作觀測如熱帶海洋暨全球大氣計畫(Tropical Oceans and Global Atmosphere Programme; TOGA)，已對ENSO發生時的大氣與海洋變動，收集相當多的資料。例如：在中太平洋近赤道海域，在TOGA計畫內布建了許多即時海洋觀測站，可以提供即時的海面溫度資料。科學家們也成功地利用海氣偶合模式(coupled ocean/atmosphere model) ，依據海溫

及大氣條件預測未來一年或一年以上聖嬰現象發生的海溫變化趨勢。而成功的海溫變化預測可以讓科學家們對特定區域的氣候變化進行實驗性的預報,各國政府就可以依據這樣的氣候預測，作出適當的因應對策，譬如在乾旱年與潮溼年分別栽種不同類型的農作物，以及事先作好災害的有效預防措施。

美國自1992年里約熱內盧地球高峰會議以來，就在推動成立國際氣候研究院(International Research Institute for Climate Prediction; IRICP)，希望在全世界各國的通力支持下，獨立於各不同行政組織之外，專門進行短期氣候預測，並希望協助各國充分利用氣候預測資訊，事先進行農業、漁業甚至基礎建設之規劃。IRICP就是在上述ENSO已可被預測並作最有效利用的前題下，由美國科學界與國家海洋暨大氣總署(National Oceanic and Atmosphereic Administration; NOAA) 策劃下，IRICP於1996年和哥倫比亞大學及Scripps海洋學院簽定合作協定，開始它的基本運作功能，希望世界各國共同合作，整合所有觀測及模式方面的努力，做成氣候預報以及相關的預報產品，利用這些結果來減少甚至避免氣候變異所致災害性天氣所造成的損害。

由於全球氣候變異顯著，我國氣候亦受干擾，因此如何積極推動國內氣候研究與預測工作，以降低異常氣候所致災害性天氣對我國之損害，實屬刻不容緩。身為地球村的一份子，我國已計劃加入此一國際組織，參與IRICP之相關研究工作，並可獲得最完整的全球短期氣候預測及其評估之資訊，同時提升我國氣候研究、預測及應用之能力與水準。近年來，中央氣象局一直努力於改進氣象預報技術，提高預報準確率，尤其是災害性天氣的預警。同時也加強防災的宣導與教育。因此精確的預報及有效的預防措施，才能減少氣象災害所造成的損失。

三、海平面上升

全球海平面過去100年平均上昇10到20公分，未來仍將持續上昇，依據IPCC(1990)的預測，西元2100年全球海平面平均上昇約66公分。這是因為全球暖化氣溫上升後，一方面海水熱膨脹，另一方面冰川與南北極冰原區溶解，所以海水位逐漸上升。至於台灣地區受到全球海水面上升的影響，從歷史潮位資料，分析基隆及高雄港之平均海水位。基隆港自1957年至1979年似有逐漸下降的趨勢；但自1979年起又有逐漸上升的趨勢，1979年出現的最低平均海水位為82.8公分，而1991年的平均海水位為96.6公分，二者相差了13.8公分。高雄港的平均海水位較基隆港為低，但變化較大。整體看來，高雄港的平均海水位是有逐漸上升的趨勢，在1973年的最低海水位為66.7公分，在1991年的平均海水位為84.1公分，兩者相差了17.4公分。以上基隆港和高雄港的平均海水位變化，在未考慮地層下陷等其它因素的影響下，最近十年均有上升的趨勢(中央氣象局，1994)。

至於未來全球海水位變化如何？除前述ICPP(1990)的估算外，其它相關的估算研究相當多(IPCC，1990；1992)，其中以Wigley (1995)為較具代表性，其所得結果如表3。表中所示乃是估算未來如果全球大氣二氧化碳濃度達到350~750ppmv間，2100年與2500年時全球氣溫與海水位的上升幅度。此估算結果在21世紀內，每十年氣溫約上升0.24℃，海水位約上升4公分。

全球海水位上升，比較明確的就是造成沿海岸土地的淹沒，當然以沈積平原最容易受損。美國環保署依據Strzepek and Smith(1995)所估算之阿根廷、孟加拉、中國、埃及、馬來西亞、尼日、塞內加爾、烏拉圭及委內瑞拉等國家，在全球海水位上升1公尺時，土地面積將喪失的幅度，以及可能受影響的人口(表4)。其中孟加拉約17.5%的土地面積可能淹沒，一千三百萬人口將受影響；中國大陸則有約十二萬五千平方公里面積淹沒，七千二百萬人口將受

影響。表4的估算是以溫室效應造成全球海水位上升一公尺為基準，若與表3資料相比較，全球海水位可能在22世紀內才會上升達到這個幅度。但是一般尚需加入考慮人為海岸開發的因素如超抽地下水等，所造成地層下陷的情形，如此則整個海岸流失的問題就更形嚴重。土地淹沒對許多島國影響最大，海水面上升後，除海岸土地淹沒外，海岸將受侵蝕，以及海岸線後退。國土的流失，受害最大的就是沿海村落必須面臨遷徙的命運，以及接踵而至的社會調適問題。同時鹽水入侵，使得沿岸能被開墾利用的土

表3. 在固定大氣CO_2濃度下，公元2100年與2500年全球氣溫與海水位上升幅度(Wigley, 1995；柳，1997)

二氧化碳濃度	全球氣溫上升(℃)		海水位上升(公分)	
ppmv	2100年	2500年	2100年	2500年
350	1.1	0.7	16	21
450	1.6	1.8	26	59
550	2.0	2.6	32	87
650	2.2	3.3	36	109
750	2.4	3.7	40	128

表4. 海水位上升1公尺下，部分濱海國家可能喪失之土地面積，以及可能受影響之人口(Strzepek and Smith,1995；柳，1997)

國家	可能淹沒面積		可能受影響人口	
	平方公里	%	百萬人	%
阿根廷	>3,430~3,492	>0.1	--	--
孟加拉	25,000	17.5	13	11
中國	125,000	1.3	72.0	6.5
埃及	4,200~5,250	12~15	6.0	10.7
馬來西亞	7,000	2.1	--	--
尼日	18,398~18,803	2.0	3.2	3.6
塞內加爾	6,042~6,073	3.1	0.1~0.2	1.4~2.3
烏拉圭	94	<0.1	0.01	0.4
委內瑞拉	5,686~5,730	0.6	0.06	0.3
總計	194,852~196,498		94.4~94.5	

地減少。

其次，平均海水面上升將抬高波浪、潮汐與暴潮侵蝕海岸之基準面，也影響到近岸之波高。由於波能與波高成正比，因此近岸波高增加，也將提高防波堤的設計高度及成本。另外，海水面上升，將改變潮汐系統，同時增高暴潮幅度。大略上，最高海水面為平均海水面及平均高潮位與暴潮三者

之和，尤其在颱風侵台時，最高海水面將因此明顯上升，這將對海岸工程建設與開發，造成嚴重衝擊。以臺灣東岸港口為例，1994年7月提姆(TIM)颱風侵台時曾出現17.5公尺的最高海水面，僅較太平洋內曾出現之最高水位18公尺略低，當時曾造成相當損害(施，1997)。又如位於南太平洋的島國吉里巴斯共和國首都所在的塔拉瓦島於1997年2月和8月兩次空前大漲潮使得整個島泡在海水中，現在島上四處可見因海岸流失而崩塌的建築，泡在水中的道路、民房，而距塔拉瓦島一公里之遙的比凱曼島數年前則早已沒入海中。

施(1997)更指出，臺灣西部海岸普遍存在的地層下陷現象，比較嚴重的地區一年下陷量即可達20公分，也使海平面相對上升，因此臺灣海岸將與其它海洋國家一樣，面臨海岸侵蝕日益嚴重的衝擊。大致上，東部海岸光復後即呈侵蝕；西部海岸也逐漸由堆積進入侵蝕期。

肆、因應策略

一、溫室氣體減量

IPCC在1996年報告中指出，科學證據支持氣候變遷主要乃人為造成，溫室氣體的減量排放將有助緩和溫室效應。因此針對溫室效應問題及溫室氣體減量策略，進行相關管制與規範，以避免氣候系統繼續遭受破壞，危及生態環境。為了達到溫室氣體的減量目標，可從能源措施、全面禁止氟氯碳化物使用、禁止森林砍伐及改進水田耕作與畜牧等農事技術上著手。

㈠能源措施

抑制溫室氣體排放最主要的是抑制二氧化碳排放，而能源消耗為二氧化碳排放最主要來源。因此在能源管制措施上，柳等(1997)提出下列幾點建議，以降低二氧化碳排放。

1. 重整能源結構及提高能源效率
   (1)儘速修正台灣能源發展方案，降低化石燃料的使用比率，加強再生能源的開發利用。
   (2)積極引用複循環機組發電以提升發電效率。
   (3)加強電力負載管理，減少尖峰用電需求。
2. 調整產業結構
   (1)鼓勵業者發展低耗能、低污染或附加價值高之產業，加強改善或淘汰高耗能、高污染之產業，促進產業升級。
   (2)調整能源價格，以價差推動產業，加強能源使用效率。
   (3)增強現有法規及經濟誘因，鼓勵產業界發展省能源、高效率之設備及器具。
3. 在運輸部門方面
   (1)改善道路交通系統，減少塞車頻率以提高燃料使用效率。
   (2)增加大眾運輸的便利性，以減緩小客車的快速成長。
   (3)積極研發替代性低污染燃料，取代傳統汽柴油車輛。
4. 強化節約能源觀念的推動及教育宣導

不過，上述這些能源措施均非在短期內可以看到成果。因此，「現階段當以提升全民對下一世紀全民對能源議題的重視為重點，並積極鼓勵相關學術研究發展，與民間實務推動，同時協助政府訂定適宜策略，方可逐步改變能源供應結構，提升能源使用效率，有效抑制二氧化碳排放等」(柳等，1997)，以減少氣候變遷對我國之衝擊。

㈡森林策略

每單位面積森林所儲存的碳量約為農地的20～100倍之多，因此在地球碳循環裡扮演著臨界角色。維持大量樹木生質；保護熱帶雨林，減少熱帶森林砍伐；在多餘的農地或劣質土地上從事大規模植樹造林等積極性的森林管理，對減緩大氣溫室氣體效應提供了重要的潛力。目前因森林砍伐每年約排放10-20億公噸的二氧化碳至大氣(Houghton *et al.*, 1987)，如推行森林策略和禁止森林砍伐，則整個生物圈每年可以

吸收7億公噸的二氧化碳，能減少溫室效應7％左右。在森林策略與措施上可由下列幾項著手：

1.實施永續的、整合的森林與自然資源管理體系以及永續農業技術。
2.透過環境計畫和管理，減少開發過程中森林的損耗。
3.改善火爐與工業用途生質燃燒效率。
4.減少生產可任意處置之森林產物(如紙、筷子等)，以生產耐久性木材或其他物品代之，且制定木製品回收計畫。
5.增加森林生產力
6.加強森林砍伐(收獲)效率。
7.在溫帶區的農地及都市土地種樹。
8.在熱帶區劣質林地重新造林與植樹。

㈢農業策略

源自農業生產所排放的溫室氣體主要經由稻米耕作、氮肥使用與家畜類腸的發酵作用等三種途徑而得。稻米耕作與家畜每年產生的甲烷佔全球甲烷產生量分別為20％及15％。而氮肥使用每年產生的氧化亞氮佔全球N_2O排放量的1～17％間。農業生產本身所排放的溫室氣體與可採行之減量措施的潛在效力及代價兩者皆是不確定的。在農業活動的利益上有相當多的研究，但與農業有關的溫室氣體排放及不同農業生產方式的改變對排放的影響程度等問題上則較少注意。以下將就這三項農業生產所排放的甲烷與氧化亞氮等溫室氣體的減量措施，作因應策略之建議：

1. 稻米耕作之策略

甲烷的產生受到稻米生長階段、溫度、灌溉、肥料使用、存在的有機物、稻米品種及稻米收穫量與時間影響(Fung *et al.*, 1988)。因此可由上述幾項因素採取控制措施，來減少甲烷的排放。

(1)調整稻米生產體系

水田產生的甲烷比旱田多，全球稻田面積水田約佔87％之多，故減少水田耕作面積可降低甲烷產生。另外浸水深度及浸水時間也影響甲烷產生率，灌溉管理方式需改善。

(2)改進稻米品種

短、硬梗的稻米品種有機物分解較少，高產量品種有較短的生長期，皆能減少甲烷的釋放。

(3)土壤改良與養分管理

施用在稻田上有機物的種類與數量影響甲烷產生。少用有效性碳含量高的有機物，多使用木質素量高之植物。多使用有機肥料減少化學肥料、農藥之使用。

(4)作物殘渣的有效利用

燃燒殘渣釋放二氧化碳，掩埋殘渣或混入水稻產生甲烷。應將稻草作有效的使用，例如作為飼料、燃料、纖維及建築材料等。

2. 氮肥使用策略

氮肥施肥土壤產生的N_2O主要是經由脫氮(denitrification)與硝化(nitrification)作用過程。因施肥每年所排放的N_2O約0.14～2.4TgN(Fung *et al.*, 1988)。工業國家氮肥使用每年增加1.3％，開發中國家每年增加4.1％(World Band, 1988)，預計到2050年全球肥料消耗將增加到1990年的3.5倍(Frohberg *et al.*, 1988)。因此有效的肥料經營策略，才能降低肥料使用需要，而減少N_2O的排放。

(1)使用低N_2O排放率的肥料

氮溶液、尿素、無水氨等氮肥所排放的N_2O是不盡相同的，因此如何針對不同作物情況，使用適當的肥料需要作調查。

(2)減少施肥量及適時施肥

依照植物需要調整肥料使用，將改善肥料使用效率。另外，秋季施肥所排放的N_2O超過春季(Bremner *et al.*, 1981)，因此適時施肥可減少土壤N_2O的排放。

(3)改變施肥方式

深放肥料比散播及手方式的施肥更能抑制氮的損失，改善施肥方式，能減少N_2O的排放。

(4)改進水管理

間歇性的水稻田注水增加氮的損失與N_2O的產生(Eriksen *et al.*, 1985)。因此灌溉

的調節，適當的浸水狀態是值得加以探究的因應措施。

(5)使用適當耕耘方式

試驗顯示，在非耕耘體系下比在傳統的耕耘體系下耕犂會排放較高的N_2O。這是因為配合非耕耘體系需多施肥及增加除草劑的使用(Groffman *et al.*, 1987)。因此針對非耕耘系肥料使用方法的發展是值得深入研究。

(6)改善施肥效率技術

在肥料裡添加氮化合與尿素抑制劑能夠經由揮發而減少氮的損失(Stangel, 1988)。將肥料包裹以硫磺或使成顆粒狀以限制或阻礙水的溶解。發展減緩釋放或適時釋放的施肥技術，以減少排放率。

3. 家畜類甲烷排放減量策略

目前家畜每年所排放的甲烷約65～100 Tg，而大部分來自於反芻動物的排放，約佔97%，非反芻動物僅佔3%。來自家畜所排放的甲烷受到飼料品質與量以及動物體重、年齡、活動力及種類等差異而有所不同。因此針對上述因素謀求策略必可減少甲烷的排放。

(1)提高家畜體系的生產力

集中管理、高生產力的家畜體系是最有效率的生產方式，能以最少甲烷排放量，產生更多的肉品(Moe and Tyrell, 1979)。

(2)飼料添加物的使用

使用一種名為ionophores抗生素的飼料添加劑餵食食用牛，能改善反芻消化效率，緩和瘤胃的發酵作用，減少甲烷產生(Johnson, 1988)。

(3)多飼養非反芻的家畜，如豬、馬等，少養牛、羊等動物。

(4)家畜糞便廢棄物利用

糞便在無氧情況下經微生物分解而產生甲烷。在浸水田地裡的糞便容易產生甲烷。但是糞便能經過處理產生類似沼氣的甲烷氣，可當做能源使用(如電力、烹調)。糞便經由氣態化處理不但能減少甲烷產生，作為燃料，而且其剩餘的殘渣也能當肥料使用(Winrock, 1977)。

二、氣候研究與預測

目前我國在氣候變遷的相關研究上還剛起步，「也因此作業與研究單位均無法拿出具區域特性，可提供我國民眾參考的國際水準級研究與實際預測成果。但在同時，國外現在正有相當多優秀且年輕的學者進行氣候變遷的專業研究，因此爭取專案研究基金，結合國內外相關學者專家，成立任務性研究中心，推動具體工作，實為當務之急」(柳及劉，1997)。基本上，氣候變遷研究及其所面臨的相關問題很多，也有很大的改善空間。許(1997)乃提出下列五點建議：

1. 利用現有資料評估台灣的氣候變遷，以探討：台灣過去百年來的氣候變遷與溫室氣體的增加有關嗎？台灣環境變遷的區域效應與溫室氣體的全球效應之間的關係為何？目前氣候模式所預測的氣候變遷，是否可用來推估台灣未來氣候變遷？
2. 加強基礎研究，以建立海陸空全面性的氣候變遷觀測網，收集完整的氣候資料；加強分析台灣過去氣候的相關資料，以了解影響台灣氣候的機制；培養區域氣候模擬能力；探討台灣氣候的可預測度(並非所有的氣候或天氣皆可預測)。
3. 參考日本最近提出之長達二十年，耗資十多兆日元的氣候變遷研究計劃，適度修正全球變遷研究的長期發展策略，考慮下列因素：以台灣觀點，排列出研究項目之優先次序；人力資源的開發；持續性；基礎研究與應用研究計劃並重；加強跨領域研究。
4. 建立資訊橋樑。
5. 加強地球系統科學教育。

另外，由於氣候變遷的預測仍存在著許多不確定性，尤其是在氣候改變的時間、幅度及區域型態相關問題上。因此為了改進預測能力需要：深入了解與氣候相關的不同過程，特別是伴隨雲、海洋與碳循

環過程；改善全球性氣候變數觀測系統，且更詳盡的探討過去已發生過的變化情形；發展改進地球氣候系模式；加強支持國內與國際間的氣候研究計畫，尤其是開發中國家；促進國際間氣候資料的開放。

三、水資源的永續發展策略

「由臺灣地區這幾年來雨量及水文的變化，旱澇次數及程度有增加的現象，全球氣候變遷對於臺灣水資源之影響，值得吾人加以特別關注」(柳及劉，1997)。郭(1997)亦提出為了確實了解氣候變遷對水資源影響程度，基本步驟應對長期水文、氣候資料之完整收集與分析，接著必須加強水文、水資源系統工具之研發與應用。台灣地區雨量雖然豐富，年平均雨量約1500～4500公厘，但因人口密集，加上其他許多地理上自然因素，仍就是一個水資源匱乏的地區，近年來由於社會之快速發展，不但需求性用水逐年攀升，南部地區年降雨量還有逐年下降趨勢，如果此種用水供需的趨勢不變，勢必要進行某種較精緻的水資源運用規劃，否則缺水情況將逐年嚴重。為了永續發展珍貴的水資源，在水資源開發時，必須兼顧生態平衡與和諧，另外在水資源保育、節約用水、建全水利行政組織、保護與合理使用地下水、加強旱澇災害防制等各方面均應重視落實，以提高國家的競爭力並增進人民的生活品質與福址。特別建議以下的作法：

1. 加強基本資料的收集與全球變遷及對水資源影響的研究。
2. 加強水庫集水區之保育，加速河川污染整治。
3. 加強節約用水之實施，包括開徵水權費、合理調配水資源、合理調整水價、執行水權觀念之宣傳。
4. 加強地下水保育，實施地下水與地面水之最佳聯合運用。
5. 加強洪水災害之防治，實施非結構性方法，例如洪水平原管制、洪災保險、雨水滯留等。
6. 減少旱災之機會與損失，以風險方法來規劃設計各項水利工程。
7. 健全水利行政組織與功能，使政府重視水利建設與水資源保育工作。
8. 加強愛護水資源宣傳，使全民能參與並瞭解水資源之珍貴。

四、海岸變遷因應

適應海岸變遷的策略，大致可歸納為(柳及劉，1997)：

1. 海岸原居住人口遷離。
2. 以海岸防蝕工程，維持現有海岸線。
3. 向大自然挑戰，積極填海造陸，創造新的海岸土地，如荷蘭的三角洲計畫和日本的關西機場，然此種模式需考量自然條件及工程技術的配合。
4. 加強研究全球變遷對海岸環境之影響，包括未來海水面上升速率預測的相關研究訊息，以作為制定中長期的海岸管理政策之依據。

伍、結　　語

氣候變遷是大尺度全球性的問題，不但影響全球氣候及生態系統，也在區域性造成極大的衝擊，影響各國之政治、經濟及社會結構，而且造成世界各國共同必需面對的全球性災難的現實問題。由於人類活動對大氣所造成的衝擊已被公認對地球是一種潛在性的破壞。溫室氣體的持續增加，改變了氣候，使得全球趨向於暖化。但是整個全球氣候變遷的推估，仍存在著許多不確定性，雖然資料顯示，全球暖化可能已發生，但是仍受到一些爭議，例如氣溫上升幅度會如模式預測那麼高嗎？實需科學界努力去澄清。雖然如此，但大多數科學家仍普遍預期全球氣候暖化未來將持續，氣候變異增大，導致旱澇頻率增加，災害性天氣趨於更嚴重性。因此防災意識的加強，預防措施的落實，以減少災害損失是很重要的。此外，全球氣候變遷與

環境惡化對農業的永續性與全球糧食的穩定性，所造成的衝擊，也為國際間關注的焦點之一。對我國而言，實需有專責單位密切收集與分析全球糧產的變動；同時提出我國因應氣候變遷的長期糧產規劃，以免未來因加入世界貿易組織(WTO)，大量釋出農地，減少耕地面積而致出現糧產供需不足的狀況。

抑制溫室氣體的排放，尤其是二氧化碳是近年來國際間所欲達成的目標。在此全球變遷與國際環保公約的發展趨勢及壓力下，我國身為地球村一份子也將面臨這個問題，如何在影響國家利益最少情況下，將衝擊減至最小，即早並適時採取因應策略，實為當務之急。政府應儘速提出相關產業的因應方案，在溫室氣體排放減量上必需有積極動作。例如：節約能源及高效率能源政策；保護森林，禁止森林砍伐，積極從事植樹造林；改進農事作業技術，經營永續農業。同時，應仿效美國及日本等國家投入大量人力與財力成立氣候研究與預測專責機構，加強氣候變遷研究、氣候模式發展與氣候預測並積極參與國際間合作計畫；相關資料及資訊的公開以及教育宣傳。政府應與企業與民間取得共識，結合民間團體力量共同推動，不但可獲事半功倍之效，且可減輕氣候變遷對我們環境的衝擊，進而達到經濟建設與環境保護的永續發展環境，為我國締造一個雙贏的局面。

陸、引用文獻

中央氣象局. 1994. 台灣地區氣候變化之分析與評估.交通部中央氣象局編印.

沈鴻禧 王建國 鍾永明 張隆男. 1998. 全球溫室氣體對台灣極值溫度之影響研究. p. 425~430. 1998年2月23-25日「天氣分析與預報研討會論文彙編」.中央氣象局，台北市.

吳明進. 1992. 台灣的氣候-氣溫與降水. 大氣科學 20：295~317.

吳明進. 1996. 聖嬰/南方振盪(ENSO)現象對台灣短期氣候變化影響之研究-春雨部分. 中央氣象局委託研究計畫CWB 85-2m-04.

柳中明. 1994. 全球氣候變遷的不確定性：對流層內臭氧與懸浮微粒的影響. 大氣科學 22(4)：523~544.

柳中明 王維強 吳明進. 1994. 台灣地區未來氣候變遷之評估. 1994年3月18-19日「台灣地區氣候變遷因素及影響研討會」. 台灣大學全球變遷研究中心，台北市.

柳中明 劉銘龍. 1997. 全球變遷對我國之衝擊評析與因應建言. 全球變遷通訊 14：9~22.

柳中明. 1997. 氣候將暖化嗎？現階段的反面爭議. 全球變遷通訊 15：18~21.

柳中明 劉銘龍 張品青. 1997. 能源與二氧化碳排放減量. 全球變遷通訊 16：1~9.

施學明. 1997. 海岸環境變遷展望. 1997年4月23日「邁向二十一世紀：全球變遷之衝擊與因應」研討會. 台灣大學思亮館國際會議廳，台北市.

陳福來 張修武. 1997. 台灣地區臭氧及紫外線觀測之資料分析. p.111~117. 1997年3月3-5日「天氣分析與預報研討會氣象論文彙編」. 中央氣象局，台北市.

許晃雄. 1997. 氣候變遷展望. 1997年4月23日「邁向二十一世紀：全球變遷之衝擊與因應」研討會. 台灣大學思亮館國際會議廳，台北市.

梁仁有 耿旭 劉復誠 林深林. 1997. 氣候改變對台灣地區蒸發散量影響的模擬研究. 氣象學報 41(4)：246~271.

郭振泰. 1997. 水資源變遷展望. 1997年4月23日「邁向二十一世紀：全球變遷之衝擊與因應」研討會. 台灣大學思亮館國際會議廳，台北市.

楊日昌. 1993. 全球變遷與台灣. p.3~4.「全球變遷與能源問題研討會論文摘要」. 工業技術研究院能源與資源研究所，新

竹縣.

楊任徵 黃肇英 朱育華 周恬弘 方良吉. 1994. 與能源有關的溫室氣體統計-IPCC方法的應用. p.40. 經濟部能源委員會.

楊盛行. 1995. 氣候變遷與農業生產. p.65~83. 氣候變遷與農業生產. 行政院農業委員會出版，台北市.

廖志翔. 1995. 台灣地區春季降雨分析及與ENSO關係之探討. 中央氣象局研究發展專題CW84-1A-04號.

劉育宏 曾仁佑. 1998. 東亞地區區域氣候變遷之研究. p.369~376. 1998年2月23-25日「天氣分析與預報研討會論文彙編」. 中央氣象局，台北市.

謝志誠. 1997. 經濟大風暴前的寧靜-氣候變化綱要公約的衝擊與省思. 全球變遷通訊 16：21~29.

環保署. 1994. 台灣地區氣候變遷因素之初步評估及基本科技資料建立先期計畫. 行政院環境保護署委託研究報告EPA-83-E3-02-03-20.

Bojkov, R. D., C. S. Zerefos, D.S. Balis, I. C. Ziomas and A. F. Bais. 1993. Record low total ozone during northern winter of 1992 and 1993. Geophys. Res. Lett. 20: 1351~1354.

Bojkov, R. D. 1995. The Changing Ozone Layer. WMO Report.

Bolin, B., J. Jager and B. R. Doos. 1986. The greenhouse effect, climatic change, and ecosystems: A synthesis of present knowledge. John wiley & sons, Chichester. pp. 1~34.

Bremner, J.M., G.A. Breitenbeck and A.M. Blackmer. 1981. Effect of anhydrous ammonia fertilization on emission of nitrous oxide from the soil. Journal of Environmental Quality 10:77-80.

Bruce, J.P. 1994. Natural Disaster Reduction and Global Change. Bull. American Metero. Soc. 75: 1831~1835.

Chang, J.-C.J. 1996. An exploratory study of the relationship between annual frequency of invaded typhoons in Taiwan and El Nino/Southern Oscillation. TAO. 7: 83~105.

Dickinson, R. E. and R. J. Cicerone. 1986. Future global warming from atmospheric trace gases. Nature. 319: 109~115.

Emanuel, K. A. 1987. The dependence of hurricane intensity on climate. Nature. 326: 483~485.

Eriksen A., M. Kjeldby and S. Nilsen. 1985. The effect of intermittent flooding on the growth and yield of wetland rice and nitrogen-loss mechanism with surface applied and deep placed urea. Plant and Soil 84 : 387-401.

Frohberg, K., and P. R. Vande Kamp. 1988. Results of Eight Policy Scenarios for Reducing Agricultural Sources of Trace Gas Emissions. Center for Agricultural and Rural Development, Iowa State University. Report presented for U. S. EPA.

Fung, I. , E. Matthews and J. Learner. 1988. Trace Gas Emissions Associated with Agricultural Activities. Prepared for the EPA Workshop on Agriculture and Climate Change, Washington, D. C., February 1988.

Groffman, P., P. Hendrix and D. Crossley. 1987. Nitrogen dynamics in conventional and no-tillage agroecosystems with inorganic fertilizer or legume nitrogen inputs. Plant and Soil 97 : 315-332.

Hadley Center. 1995. Modeling Climate Change 1860~2050. The Meteorological Office. U.K.

Hansen, J.E., A. Lacis, D. Rind, G. Russell, P. Stone, I. Fung, R. Rudy and J. Lerner. 1984. Climate sensitivity: analysis of feedback mechanisms. *In:* climate

Processes and Climate Sensitivity. J. E. Hansen and T. Takahashi (Eds). Geophys. Monoger. 29: 368.

Houghton, R., R. Boone, J. Fruci, J. Hobbie, J. Melillo, C. Palm, . Peterson, G. Shaver, G. Woodwell, B. Moore, D. Skole and N. Myers. 1987. The flux of carbon from terrestrial ecosystems to the atmosphere in 1980 due to changes in land use : Geographic distribution of the global flux. Tellus 39B: 122-139.

IPCC. 1990. Climate Change. The IPCC Scientific Assessment. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press. 365pp.

IPCC. 1992. Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Houghton, J. T., B. A. Callander and S. K. Varney..(Eds.). Cambridge University Press. Cambridge. U. K. 200pp.

IPCC. 1996. Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Houghton, J. T., L. G. Meria Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell (Eds.) Cambridge University Press. 572 pp.

Johnson, D. E. 1988. Livestock Emissions Estimates. Presented at U. S. EPA workshop on Agriculture and Climate Change, Washington, D. C., February 29 -March 1, 1988.

Kerr, R. A. 1994. Antarctic ozone hole fail to recover. Science. 266: 217.

Lashof, D. a., and D. a. Tirpak. 1990 Policy options for stabilizing global climate. Hemisphere Publishing Corporation. 810 pp.

Merrill, R. T. 1988. Environmental influences on hurricane intensification. J. Atmos. Sci. 45: 1678~1687.

Moe, P. and H. Tyrell. 1979. Methane production in dairy cows. Journal of Dairy Science 62:1583-1586.

Noda, A., and T. Tokioka. 1989. The effect of doubling the CO_2 concentration on convective and non-convective precipitation in a general circulation model coupled with a simple mixed layer ocean. J. Met. Soc. Japan. 67: 1055~1067.

Ramanathan, V. 1988. The radiative and climate consequences of the changing atmospheric composition of trace grases. pp.159~186. The Changing Atmosphere. Rowland. F. S., and I.S.A. Isaksen(Eds.).

Rind, D., R. Goldberg and R. Ruedy. 1989. Change in climate variability in the 21st century. Climatic Change. 14: 5~37.

Stangel, P. 1988. Technological Options Affecting Emissions. Presented at U. S. EPA Workshop on Agriculture and Climate Change, Washington, D. C., February 29-March 1, 1988.

Strzepek, K. M., and J. B. Smith(Eds.). 1995. As Climate Change: International Impacts and Implications. Cambridge University Press.

Subak, S., P. Raskin and D. V. Hipple. 1993. National greenhouse gas accounts. Current anthropogenic sources and sinks. Climatic Change. 29: 35~58.

Takedo, T. 1993. Remote Sensing and heavy rainfall diasters. pp.397~407. Aichi/ Nagoya International conference. Japan. International Decade for Nature Disaster Reduction.

Trenberth, K. E., J. R. Christy and J. G. Olson. 1987. Global atmospheric mass, suface pressure and water vapor variations. J. Geophys. Res. 92(14): 815~14826.

Wigley, T. M. L. 1995. Global mean temperature and sea-level consequence of green-

house gas concentration stabilization. Geophys. Res. Lett. (in press).

Wilson, C. A., and J. F. B. Mitchell. 1987. Simulated CO2 induced climate change over western Europe. Climatic change. 10: 11~42.

Winrock. 1977. Ruminant Products: More than Meat and Milk. Windrock International Livestock Research and Training Center. Morrilton, Arkansas.

World Bank. 1988. World Bank, FAO, UNIDO Fertilizer Working Group Nitrogen Supply, Demand and Balances for 1986/87 to 1992/93. Washington, D. C.

World Meteorological Organization (WMO). 1992. Scientific Assessment of Ozone Depletion. No. 25. WMO Report.

World Meteorological Organization (WMO). 1994. Scientific Assessment of Ozone Depletion. Global Ozone Research and Monitoring Project. No. 37. WMO Report.

Chapter 2 Effects of Global Climate Change on Meteorological Circumstances in Globe and Taiwan Area and Strategies in Response

Chin-Shiang Liao
Agrometeorology Branch, Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

An increase in the atmospheric concentrations of greenhouse gases resulting from human activities enhances the greenhouse effect, which results in climatic change and warms the earth's surface. Under the tendency of the climate change, the impact on the meteorological environments in global scale and Taiwan area is an imminent problem that Taiwan and the nations of the world must face. It is the main purpose of this paper to review the related issues and selected previous studies, meanwhile, to make a recommendation and strategy in response to this problem. The variations of long-term atmospheric greenhouse gases and the estimated emissions in the future are described first. Then, the climatic changes around the globe and Taiwan area in the past are investigated. Over the past 100 years, the global mean temperature has risen about 0.6℃, the sea level has risen around 10-20cm. In the response to doubling CO_2 for the coming future, the global mean temperature, the mean sea level will continue to rise. The frequency of the disastrous weather caused by the climatic variability will increase and be more severe. Such obvious changes of climatic environment not only affect crop production, but also impact the management of water resources and food supply. Finally, the response strategies, for reducing greenhouse gas emissions; especially from the energy use, forestry and agricultural control options, for the climate researches and predictions, for sustainable development of the water resources and the coastal change, are provided.

Key words: Greenhouse effect gases, Climate change, Climate variability, Sustainable development.

氣候變遷對農作物生產之影響
第3章　全球氣候變遷對全球與臺灣地區農業生產
之影響及因應措施與策略 33-58, 1998

第三章　全球氣候變遷對全球及臺灣地區農業生產之影響及因應措施與策略

宋濟民　陳世雄　葉茂生
國立中興大學農藝系
林瑞松　李文汕　倪正柱
國立中興大學園藝系

摘要……34
壹、前言……34
貳、糧食作物……34
參、特有作物……42
肆、花卉……43
伍、蔬菜……45
陸、果樹……48
柒、結語……50
捌、參考文獻……50
英文摘要……58

第三章　全球氣候變遷對全球及臺灣地區農業生產之影響及因應措施與策略

宋濟民　陳世雄　葉茂生
國立中興大學農藝系
林瑞松　李文汕　倪正柱
國立中興大學園藝系

摘　要

氣候變遷對農業生產已知會造成相當大的衝擊，唯目前國內與此有關之研究仍十分有限。一般說來，溫度提昇對C_4型之作物有正面的影響。而二氧化碳濃度之增加則有利於對C_3型之作物之生產。對花卉、蔬菜等短期作物而言，氣候變遷對其影響較小。對果樹而言，高二氧化碳濃度、高溫也有利於生長。為了因應未來對糧食的需求，仍有必要推動有關氣候變遷方面的研究。

關鍵詞：氣候變遷、高溫、高二氧化碳、農業生產。

壹、前言

農作物在自然條件下，一般均為露天栽培，因此受氣候變遷的影響最大。一般說來，影響農作物生產的主要因子為溫度、日照、降雨以及二氧化碳濃度。近年來，由於石化工業之持續發展，使大氣中二氧化碳濃度逐年升高，導致氣溫增加。同時也促成二氧化硫、酸雨之危害。由於溫室效應也促使水分蒸發及蒸散之提高，導致雨量增加而形成水害。但另方面，氣溫的提昇也促使部分地區面臨嚴重的旱害。根據我國中央氣象局發布之有關資料，臺灣地區最近五年之降雨機率明顯低於民國60年代至民國85年代之平均值。因此，可以預期氣候變遷必然會對農作物的生產造成相當大的衝擊。

貳、糧食作物

諸多試驗顯示空氣中二氧化碳濃度增加，對一年生作物產量有正面的效果(Kimball, 1983；Strain and Cure, 1985；Cure and Acock, 1986；Allen *et al.,* 1990；Kimball *et al.,* 1990；Lawlor and Mitchell, 1991；Bazzaz and Fajer, 1992；Gifford and Morison, 1993；Koerner , 1993；Rozema *et al.,* 1993；Mooney and Koch, 1994；Rogers *et al.,* 1994)，一年生C_3植物在二氧化碳濃度加倍(700ppm)情況下，包括乾物產量及種子平均可增產約30%(Cure and Acock, 1986；Roger and Dahlmann, 1993)，但種間及生態系間之差距甚大(從-10%至+80%)。C_4型植物及多年生木本植物對高二氧化碳增產之反應，遠遜於C_3型植物。具有固氮能力之作物對二氧化碳供應量增加顯然較其他作物容易獲得好處(Cure *et al.,* 1988)。在高二氧化碳環境下，非構造性碳水化合物增加，而礦

物元素濃度和蛋白質則降低(Mooney and Koch, 1994；Rogers *et al.*, 1994)。增加二氧化碳提高地下部/地上部比值，故對根莖類作物有利，亦有利於土壤有機質之增加(Mauney *et al.*, 1992；Mitchell *et al.*, 1993)。Ziska *et al.*, (1997)指出增加二氧化碳濃度200及300ppm分別顯著提高水稻乾物重31及40%，由於單位面積穗數及稔實率增加使得穀粒產量分別提高15及27%，但在高溫處理下，則增加二氧化碳濃度對穀粒的增產效應不顯著，而且可能影響穀粒品質(例如蛋白質含量降低)。作物水分利用效率亦因二氧化碳濃度增加而提高，主要作物不同品種間之水分利用效率差異極大(Cure and Acock, 1986；Kimball *et al.*, 1993；Sombroek and Gommes, 1993)。

非洲有關氣候變遷對作物生產影響的文獻甚少，主要研究在於降雨量及生長季節長短變化的影響。最近研究指出雖然某些地方由於變暖及變濕而對作物生產有好處，但大部分非洲地區作物受氣候變遷的影響而減產(Ominde and Juma, 1991；Ottichilo *et al.*, 1991；Schulze *et al.*, 1 993；Slvakumer, 1993；Magadza, 1994)。Akong'a *et al.* (1994)及Sivakumar (1993)探討氣候變異(主要是周期性乾旱)對農業的影響，指出乾旱對作物產量及生長季節長度均有顯著不利的影響。在埃及由於氣候變遷導致小麥減產75-18%(表一)，玉米則減產65%至增產6% (Eid, 1994)。辛巴布威則由於氣候變遷而造成玉米減產40-10% (Muchena, 1994)。此外由於溫度增加2-4℃，使得玉米減產17-5%，也由於增加20%降雨量，使得塞內加爾之小米減產70-63% (Downing, 1992)。肯亞也由於歷史性的乾旱，使得玉米嚴重減產(Akong'a *et al.*, 1994)。尼日及西非等國1965-1988由於氣候變遷，使得作物生育日數較1945-1964減少5-20天(Slvakumar, 1993)。

表一、非洲及中東地區作物產量受氣候變遷之衝擊

地理區	作物	產量衝擊(%)	參考文獻
埃及	小麥	-75 ~ -18	Eid, 1994
	玉米	-65 ~ +6	
南非	生物量	下降	Schulze *et al.*, 1993
	玉米	增產	
辛巴布威	玉米	-40 ~ -10	Machena, 1994
辛巴布威	玉米	-17 ~ -5	Dowing,1992
塞內加爾	小米	-70 ~ -63	
肯亞	玉米	下降	
肯亞	玉米	乾旱導致負面效應	Akong'a *et al.*, 1994
尼日 西非	生長季	減少5-20天	Slvakumar, 1993

溫度單獨的效應通常是降低產量，但是CO_2濃度的增加常顯示正面的效果。Brammer *et al.* (1994)指出，孟加拉由於耕作體系的多樣化，所以氣候變遷對農業的影響在此時並無定論。Parry *et al.* (1992)也指出氣候變遷的影響在泰國、印尼及馬來西亞各國間並不一致。由於溫度的變化(增加2-4℃)、降雨量的增減(±20%)以及二氧化

碳濃度增加的影響，使得巴勒斯坦小麥的產量受到的衝擊在減產61%到增產67%之間(表二)，印度的小麥則在減產50%至增產30%之間，孟加拉的水稻則在減產6%至增產8%之間，泰國的水稻在減產17%至增產6%之間，菲律賓的水稻在減產21%至增產12%之間(Rosenzweig and Iglesias, 1994)。印尼由於氣候變遷，使得水稻減產3%，大豆減產20%，玉米減產40%。斯里蘭卡也因氣候變遷，使得水稻減產6%，大豆受到的影響則在減產3%到增產1%之間。

在中國，氣候變遷使得農業減產10% (Zhang, 1993)到30% (Jin *et al.*, 1994)。Hulme *et al.* (1992)指出在某一程度內，由於暖化造成耕作體系多樣化對增產應屬有利。預測到2050年中國平均溫度將提高1.2℃，蒸發散量的增加將超過降雨量的增加，因而可能導致某些水稻栽培區域由於水分逆境而減產。暖化可能造成農業氣候區北移，但也使得南部或中部六個地方造成夏季乾旱的可能性增加(Lin, 1994)。

表二、南亞及中南亞地區作物產量受氣候變遷之衝擊

地理區	作物	產量衝擊(%)	參考文獻
巴基斯坦	小麥	-61 ~ +67	Rosenzweig
印度	小麥	-50 ~ +30	and Iglesias
孟加拉	水稻	-6 ~ +8	(eds.), 1994
泰國	水稻	-17 ~ +6	
菲律賓	水稻	-21 ~ +12	
孟加拉	水稻	+10	
印度	小麥	下降	Qureshi and
印尼	水稻	-3	Hobbie, 1994
	大豆	-20	
	玉米	-40	
印尼	水稻	接近-4	Parry *et al.*,
	大豆	-10 ~增產	1992
馬來西亞	玉米	-65 ~ -25	
	水稻	-22 ~ -12	
	玉米	-20 ~ -10	
泰國	水稻	-5 ~ +8	
印度	水稻	-3 ~ +28	
孟加拉	水稻	-9 ~ +14	Mattews *et al.*,
印尼	水稻	+6 ~ +23	1994a, 1994b
馬來西亞	水稻	+2 ~ +27	
菲律賓	水稻	-14 ~ +14	
泰國	水稻	-12 ~ +9	

日本研究指出大氣中二氧化碳濃度增加對中、北部地區水稻生產有正面效應，在西南部，特別是九洲，在考慮氣候改變的負面效應後，水稻產量可能不增不減(表

三)。Horie (1987)指出在北海道氣候變遷往往對水稻產量造成減產，但若可以找到可以適應的較晚熟品種，將可以獲得增產。Horie (1991)也指出除了西南部外，水稻品種的更新以及栽培管理技術的改進，將可以彌補氣候變遷造成的損失，但西南部由於預測溫度將增加4 -4.5℃，遠超過式稻品種可以適應的範圍，因而可能造成減產。

澳洲的氣候變遷研究顯示(1)生產線往極區移動，(2)小麥所受衝擊包含品質的改變，(3)淹水及沖蝕的危害增加，(4)增加乾旱的可能，大麥及小麥較燕麥敏感，(5)二氧化碳濃度增加造成許多種作物增產的好處 (Hobbs *et al.*, 1988 ; Pittock, 1989 ; Bl Wang *et al.*, 1992 ; CSIRO, 1993 ; Hennessy and Cayton-Greene, 1995 ; Wang and Gifford, 1995)。

Singh *et al.* (1990)指出對大洋洲的小島國家，由於日照減少(陰天增加)，溫度增加(導致生長期間縮短且增加不稔率)以及水之供應而使作物減產(表四)。Singh *et al.* (1994)指出對大洋洲的小島國家對氣候變遷有其脆弱性，乾旱(降雨減少及旱季延長)將使得作物減產，人口遷移，風蝕及對野生動物的負面衝擊增加。中度乾旱(延續45天以上)將造成玉米減產30-50%，甘蔗減產10 -35%，芋頭35-75%。濕季增加50%降雨量將使芋頭增產5-15%，但因陰天日照不足將使水稻減產10-20%，玉米則將因淹水嚴重減產30-100%。

表三、東亞作物地區產量受氣候變遷之衝擊

地理區	作物	產量衝擊(%)	參考文獻
中國	小麥	-8	Tao, 1992
	水稻	-6	
	棉花、油料作物、馬鈴薯、玉米	-4 ~ +1	
中國南方	水稻	-11 ~ -7	Zhang, 1993
中國南方	水稻	-78 ~ -6	Jin *et al.*, 1994
	水稻	-37 ~ +15	
日本	水稻	+10	Sugihara, 1991
日本	草類	-10 ~ +10	Suyama, 1988
日本	水稻	-11 ~ +12	Yoshino, 1991
	玉米	-31 ~ +51	
	小麥	-41 ~ +8	
日本	水稻	-45 ~ +30	Horie, 1993
南韓	水稻	-22 ~ +14	Mattews *et al.*,
中國	水稻	-18 ~ -4	1994a, 1994b
台灣	水稻	+2 ~ +28	
日本	水稻	-28 ~ +10	

氣候變遷使得作物生產區北移，對俄羅斯歐洲北部地區農業有利。預計Porolzhye貧草原，北Caucasus及西伯利亞南方，穀類作物將減產20-25%。Slrotenko and Abashina (1994)，Slrotenko *et al.* (1991)指出臭氧增加及土壤有機質的減少將實質降低作物產量，若同時考慮二氧化碳問題，牧草產量將降低1/4，作物產量則將降低10%(表五)。歷史上

前蘇俄氣候變異往往造成作物產量大受影響，以1930年代的乾旱為例，估計減產25-39% (Menzhulin, 1992)。

表四、澳洲及紐西蘭作物產量受氣候變遷之衝擊

地理區	作物	產量衝擊(%)	參考文獻
紐西蘭	牧草	整體為增產，但有些地區減產。	Campbell, 1994; Campbell *et al.*, 1995;
紐西蘭	溫帶作物及牧草	增加	Salinger *et al.*, 1990
澳洲	多年生草類	+31(-1, +35)	
	小麥	+23(-6, +35)	
南澳洲	小麥	-6 ~ +13	
澳洲	小麥	-34 ~ +65	Wang *et al.*, 1992
澳洲	甘蔗	+9 ~ +13	

表五、俄羅斯作物產量受氣候變遷之衝擊

地理區	作物	產量衝擊(%)	參考文獻
俄羅斯	小麥	-19 ~ +41	
俄羅斯	作物產量	+10 ~ +35	Slrotenko and Abashina, 1994；Slrotenko *et al.*, 1991
	草原	-2 ~ +26	
	作物產量	-14 ~ +13	
	草原	-27 ~ -2	

氣候變遷包括二氧化碳的影響對小麥、大麥及玉米都是負面效應，但對大豆則是正面效應。智利氣候變遷造成小麥及葡萄減產但玉米及馬鈴薯增產(表六)。巴西東北部是最大且對氣候變遷適應度低的地方，有如拉丁美州大部份農業區，此區域在作物生長期為雨季，隨後為旱季。在巴西東北部，雨季相當短，只有3-4個月，也常有無雨季出現之年份，沒有雨季的年份往往造成饑荒以及人口遷移至大都會區，氣候變遷將導致雨季更短，或增加無雨的年份，對此區域的農業生產絕對是負面的效應。

模擬所得結果北歐地區由於暖化使得作物產量增加，但在地中海地區則是實質地減產，北歐之增產也依賴二氧化碳濃度增加，以及降雨量足以應付增加的蒸發散量。地中海地區則是由於高溫及降雨(或增加之降雨不足以應付增加之蒸發散)減少導致的乾旱而減產。在較高溫度下，穀類作物生長季節將會延長，也可能增加無霜期天數。對南歐而言，雖然生長期延長，但可能尚不足利用提早種植來避開夏季之高溫。因此，可能由於穀類充實期不足而導致減產(表七)。有關之研究也提出作物之

氣候限制界限，包括玉米、小麥，花椰菜及葡萄(Carter *et al.,* 1991a, 1991b； Parry *et al.,* 1992； Wolf, 1993a, 1993b)。一般而言，這些研究發現作物生長區北移之趨勢，穀粒玉米可以北至英國以及芬蘭中部栽培。灌溉需求的增加，以及在南歐增加耐缺水的土地的可能性，都有所探討。

表六、拉丁美洲地區作物產量受氣候變遷之衝擊

地理區	作物	產量衝擊(%)
烏拉圭	大麥	-40 ~ -30
	小麥	-30
阿根廷	小麥	-10 ~ -5
烏拉圭		
巴西	小麥	-50 ~ -15
	玉米	-25 ~ -2
	大豆	-10 ~ +40
墨西哥	玉米	-61 ~ -6
智利	小麥	下降
	玉米	增產
	馬鈴薯	增產
阿根	廷玉米	-36 ~ -17

表七、歐洲作物產量受氣候變遷之衝擊

地理區	作物	產量衝擊(%)
北歐	玉米	增產
北歐	小麥	增產
芬蘭	產能	+10 ~ +20
萊茵河地區	穀類	+10 ~ +30
英國	穀類	增產或持平
		增產
英國	小麥	增或減產
法國		
法國	小麥	增產或持平
	玉米	
西班牙	玉米	-30 ~ -8
義大利/希臘	生物量	-5 ~ +36

研究指出氣候變遷在不同地點有不同的衝擊程度，在南部地方衝擊大部份是負面的效應。Rosenzweig (1985)模擬結果指出小麥生產面積將增加，特別是加拿大。美

國主要的小麥產區則維持不變(表八)。Crosson (1989)指出較溫暖的氣候將使得小麥-玉米-大豆生產界限大幅北移，美國生產量下降而加拿大生產量增加。氣候區的遷移將導致玉米或小麥減產，由於新的生產區可能受限於土層淺薄，肥力低下，而使得作物生產力受限制，因而造成作物之多樣化(CAST, 1992)。甚多研究探討氣候變遷對加拿大草原農業的影響(Cohen *et al.*, 1992)，草原位於邊緣氣候，受限於溫度和降雨，使得農耕不易北移(表九)。1989年之乾旱危害可以做為此區域對氣候變遷敏感度之指標。旱災危害包括塵雲及風蝕，穀類減產29%，乾草減產94%，農場收入較1987年減少50-78%(表九)。

鄔等(1979)指出不同水稻品種受氣象影響程度不同，台中65號一期作25%產量受孕穗期氣象因素影響，溫度高，日照時數多，晴天日數多則穎花數多而增產，二期作10%產量受成熟期溫度及晴天日數等氣象因素影響，但有25%受制於穗數多寡。台中150號一期作40%產量受制於分蘗期後之地溫，地溫高則高產，二期作5%產量受成熟期氣象因素影響，但有81%產量受分蘗數之影響。

表八、美國作物產量受氣候變遷之衝擊

地理區	作物	產量衝擊(%)	參考文獻
全美	全部作物	增產或減產	Adams *et al.*, 1988, 1990, 1994
美國南方	玉米	減產	Cooter, 1990
Missouri, Iowa,	玉米	-23 ~ -6	Easterling *et al.*,
Nebraska, Kansas	高粱	-20 ~ +26	1993
	玉米	-11 ~ +17	
	大豆	-26 ~ +2	
	苜蓿	-5 ~ +22	
中部及東	玉米	增產或減產	Kaiser *et al.*, 1993,
南各州	小麥		1994
Minnesota,	高粱		
Nebraska	大豆		
Kansas	小麥	變異增大	Mearns *et al.*, 1992a, 1992b
Illinois	穀類	增產或小幅減產	Muchow and Sinclair, 1991
美國東南	大豆	-96 ~ +58	Rosenzweig *et al.*,
大湖區	玉米	-55 ~ +62	1994
	小麥	-100 ~ +180	

其他品種也有類似結果，顯示一期作影響產量的因素，因品種而異，但二期作各品種至少5%產量由成熟期的氣象因素所決定。此時期溫度高，日照多可提高產量，影響產量至鉅。根據陳等(1991)指出二期作分蘗期土壤氧化還原電位至少較一期作低200 mv，所以分蘗少，產量低，可能還是受氣象因素的影響。二期作早期由於高溫，土壤微生物繁殖活動旺盛，使得土壤氧化還原電位大幅降低，因而影響稻根活性降低，

養分吸收受阻，造成分蘗不足而減產。

周及宋(1996)指出模擬pH2.4及3.4之酸雨處理，對台9號水稻劍葉葉綠素含量，滲漏電導度，穀粒千粒重及產量均未有顯著影響。但可能影響收穫後種子儲藏品質及壽命。林及張(1996)指出東北季風越強，對中晚熟品種影響越大，早熟品種由於避開風害，影響較輕微。風害對稔實率影響最大，其次為千粒重。李(1997)指出二期作延後種植，由於抽穗前溫度偏低，全生育日數延長，致使株高、穗數、一穗粒數、稔實率、千粒重及穀粒產量均顯著降低。臺灣中部地區延至九月以後種植者，由於抽穗期低溫，使部份稻穗無法抽出葉鞘，造成低產。陳(1992)指出高濃度二氧化碳並沒有顯著改變葉片葉綠素、蛋白質含量以及其老化型式。雖然降低氣孔及葉肉細胞之二氧化碳傳導度，但二氧化碳處理顯著地提高葉片光合作用能力，所以供應葉片產生較多的碳水化合物，結果造成植株乾物質累積增加，唯增加的部位以莖桿為主，穀粒重並未受顯著影響。

表九、加拿大作物產量受氣候變遷之衝擊

地理區	作物	產量衝擊(%)
Saskatchewan	春小麥	-28 ~ -18
Manitoba, Alberta,	春小麥	-36
SW Saskatchewan	春小麥	-15 ~ +2
Alberta, Manitoba,	小麥、燕麥	小幅降低
Saskatchewan	大麥、亞麻	~ +28
	牧草	
Alberta, Manitoba,	小麥	-40 ~ +234
Saskatchewan		
Ontario		

姚等(1996)指出pH2.5模擬酸雨處理使落花生葉片表皮葉綠素含量及腊質明顯減少，下降幅度與處理次數關係密切，且二氧化碳速度亦隨之降低。但pH3.0以上之酸雨處理則無影響。鄭(1996)指出氣溫對台茶12號及青心烏龍茶葉百芽重影響最大，平均氣溫對茶葉百芽重為正面影響，但最高溫則為負的影響。平均相對溼度對葉面積及萌芽密度為正面效果，最低相對溼度則反之。賴等(1996)指出春作甘藷生育期間月平均氣溫、月累積雨量及輻射量皆高於秋作，有利於地上部生長；秋作則生育期間月平均日夜溫差高於春作甘藷，利於甘藷塊根肥大。楊等(1996)指出累積氣溫、日射量及日照時數較高雨量充足氣象條件下，大豆幼株乾物質累積量較高。大豆籽粒產量受生育期間累積氣溫、累積日射量及累積降雨的正面影響。

朱等(1997)指出若以葉片出現病徵做為耐性指標，則粳稻對臭氧的忍受性(800ppb)高於秈稻(300ppb)，品種間以台中秈19號及台粳9號耐性較強，台農秈20號及越光對臭氧之耐性最弱。蕭等(1993)指出，大豆在二氧化硫800ppb以上濃度，開始出現病徵，在高溫下較低溫敏感。大豆不管是耐性或敏感品種，在高相對溼度下，受二氧化硫之傷害均很嚴重，在低溫度下則幾乎無病徵。水稻品種間對二氧化硫之敏感性差異甚大，敏感

品種在800ppb薰蒸一天即出現病徵，某些耐性品種則在400ppb薰蒸三週仍無明顯徵狀。一般而言，秈稻對二氧化硫的反應較粳稻敏感。溫度越高傷害越大，在遮光86.6%下，傷害顯著降低。耐性品種如台中糯70號在較高風速(2.6m/s)下二氧化硫的傷害較低風速(0.8m/s)下嚴重，在高相對溼度(>70%)下也有相同之反應，即對二氧化硫之傷害較敏感。敏感性品種如高雄秈2號則風速影響不大，相對溼度的影響也不顯著。水稻施用較高量氮肥可以降低被害程度。高二氧化碳濃度(800ppm)情況下，可以降低二氧化硫對水稻、大豆的為害，但玉米對二氧化硫為害之反應則不受二氧化碳濃度增加而有所影響。

參、特用作物

臺灣的特用作物近年來最主要者有茶、菸草、甘蔗、胡麻、樹薯、大甲藺、三角藺、香花作物等，全球氣候變遷將影響氣候、降雨量等，農業生產型態將受其影響，特用作物雖然大都屬於熱帶高溫型作物，溫度與二氧化碳含量提高對作物生長有利，但總體全球氣候變遷仍會逐漸改變生態環境，對其因應調適措施與策略，值得重視。

1980年以前臺灣特用作物種類很多，包括茶、菸草、檳榔、甘蔗、落花生、芝麻、篦麻、向日葵、苧麻、亞麻、黃麻、鐘麻、棉花、大甲藺、三角藺、瓊麻、毒魚藤、薄荷、香水茅、樹薯、葛鬱金與香花作物等，而其中纖維料作物最多，而60年代至70年代為最興盛的時期。至80年代至今所有的纖維作物逐漸式微，除大甲藺、三角藺外，所有韌皮纖維的麻類作物則不再推廣種植。而最重要的有茶、菸草、甘蔗及花生等三種作物。今僅就此三種作物的生產概況說明之。

一、茶

茶為目前本省最重要的特用作物，但近年來栽培面積逐年下降，由1988年25,595公頃至1996年21,223公頃，產量為23,131公噸。其最高種植面積1960年曾高達48,432公頃，最高產量1974年曾高達28,639公噸。茶樹性喜溫暖濕潤，生長最適平均溫度在18~25℃之間，年降雨量1,800~3,000 mm，濕度75~80%有利茶樹生長，且能提高品質，生長期的最適日照為0.5~0.6 cal/min, cm^2。

二、菸草

菸草栽培面積近10年來亦逐年下降，由1987年的9070公頃至1996年只剩4,090公頃，產量由24,005公噸降為11,230公噸。菸草屬夏季作物，最適宜氣溫22~28℃，每月平均雨量，生長期間平均100mm左右，過旱或過濕都會影響菸葉品質及產量，宜充足而不強烈的日照，本田生長期要求日照500小時以上，其中成熟期日照要求280小時以上，日照多寡影響菸草的生長與內容物。

三、甘蔗

甘蔗原為臺灣最重要的經濟作物，至1985年栽培面積均維持在8~11萬公頃之間，1986年驟降為64,573公頃，並逐年下降1996年祇有53,348公頃，產糖量391,544公噸。甘蔗原產熱帶，年平均溫25~27℃，日夜溫差2~5℃為甘蔗生長最適溫度，年雨量1,000~2,000mm，且大部降於生長旺期內為宜。成熟期宜較乾燥且氣溫較低，有利於糖分的累積。

全球氣候變遷中大氣中二氧化碳濃度增加，溫室效應氣體增加，使全球氣溫升高，降雨量與日照減少等對作物的影響最大(Reilly, 1996)而這些因子對糧食作物之影響報告很多(Reilly, 1996)，而對特用作物方面的影響則相當少。據推測至2050年地球平均氣溫上升1.5~4.5℃(林, 1996)，而臺灣推測2050年溫室效應氣體倍增後，各地區逐月平均溫度和1990年代平均值比較約上升1℃。以溫度升高來說，對臺灣特用作物的生產至今完全沒有報告，但特用作物均為熱帶作物不會有多大影響，反而有利。然

而溫度上升造成水分蒸發與蒸散量增加，大氣中的水分增加，雲量會增加，日光的透射量減少，也就是日照不足，這就不利於作物的生產。加之由於溫室效應氣體倍增後，2050年之降雨量約減少50mm，這當然對作物生產來說也是不利的。二氧化碳濃度升高，光合作用增強，對作物的增產是有利的，但可能引起病蟲害。一般C_3型的一年生作物當二氧化碳濃度倍增時(700 ppm)增加約30% (Cure and Acock, 1986, Reilly, 1996)，而對C_4植物的效果則較少(Reilly, 1996)。而台灣特用作物除甘蔗為C_4型外，大部分為C_3型作物，因此CO_2濃度增高，對特用作物生產而言，乃是有利的。但林(1996)指出台灣的生態環境到2000年時，溫度之變化可能很小，只有高冷地可能稍受影響；日照量可能減少，日夜溫差可能變小，因而因CO_2濃度提高的增產效應可能不顯著。

雖然氣候變遷在臺灣特用作物的生產上不會造成太大的影響，但宜早規範因應之道。為了適應全球氣候變遷，首要工作是品種改良，培育新的品種，以適應新的栽培環境。其次是加強栽培管理作業，如開發新的病蟲害防治技術，改良灌溉排水措施，實行永續農業，發展新的栽培施肥方法，提高肥力，重視種源保存，開發新作物。

肆、花 卉

花卉產品包括切花、盆花、種苗、切枝、切葉、乾燥花、觀葉植物。在世界各國推動地球村理念、世界貿易組織開放市場前提下，減少了各國之間的許多貿易障礙，而花卉產品快速轉運到消費地，以使消費者及時觀賞利用，須克服許多產銷問題。目前網際網路的利用及衛星傳訊的高科技發展應用，花卉市場交易已可進行遠距交易工作，使保鮮快速運送為前提的花卉產品能更無遠弗屆。因此發展花卉產業目前的問題就是栽培生產質與量及產銷的問題。面對產業的競爭，降低生產成本的不二法則就是適地適作，儘管大部份的花卉生產均是使用設施設備栽培與園藝資材，但是依生產型態而言，在生產高品質花卉需求下，氣候因子也扮演了相當重要的角色(林,1994)。

一、溫度：

(一)溫度變遷與花卉生產可行性

目前台灣生產重要切花中包括香石竹、玫瑰花、非洲菊、火鶴花等均是在適當溫度下可以周年開花生產的種類。在溫帶地區均是以溫室設施栽培，冬季加溫，夏季降溫(黃，1996)。理想的產地氣候是熱帶的高原地區，周年氣候涼爽，形成世界性的主要地區。盆花中重要的作物包括聖誕紅、東亞蘭、蝴蝶蘭等年節應景花卉，其花芽分化後花的發育與溫度之關係密切。東亞蘭在九月初後如果持續高溫在28℃以上，將造成花芽的夭折，如果太低溫超過10℃以下，則有寒害，在歲末如果加上相對濕度高下，夜間的降霜將產生破壞性危害，造成霜害嚴重，尤其氣候變遷在歲末春初，寒流一波又一波，在花瓣花序造成水浸狀寒害，因此在花芽分化後期東亞蘭受溫度影響相當大(林，1994)。蝴蝶蘭之盆花生產以低溫催花做為產期調節生產，一般都是以溫室內利用水牆抽風及冷氣低溫，在18-20℃下進行處理(李，1987)，在氣候變遷時會增加或降低溫度而影響成本。以在簡易設施栽培之文心蘭，受氣候影響的程度就比較大，一般認為溫度是影響文心蘭花期重要因素之一，生產地區之溫度愈低則開花所需之生育日期愈長。夜溫愈高則花莖伸長發育快速，但小花數較少(林，1998)。綜上所述，台灣之花卉生產，在氣候變遷時須注意花卉作物花芽分化，花芽發育及花器官發育期間之溫度變動。

(二)溫度變遷與花卉品質

在花卉生產上，溫度也是決定花卉品質之重要因素，最重要的是花青素(anthocyan)的形成易受環境因子影響，特別

是溫度與光線，其中溫度而言，冬季冷涼溫度使紅花品種之菊花、玫瑰花色彩鮮艷。但在夏季高溫時呈粉紅色或淡紅色(黃，1996)。一般而言，涼溫時花色濃，高溫時花色淡。由於溫室效應的結果使氣溫升高，使得花青素之形成在發育期間發生障礙，而影響花之著色，特別在臺灣南部之花卉產地。另外在氣候變遷暖和趨勢下，在高溫使菊花產生柳芽，玫瑰花在夏季高溫時開花花朵較小，花瓣數較少品質差。若傾向低氣溫酷寒時容易寒害，部份球根花卉穗狀花序(如唐菖蒲)之小花分化易造成消蕾(黃，1996)。花卉作物之扦插發根、種子發芽、花芽分化、開花結果、結球均有其最適溫度(李，1987)，因此氣候變遷所導致的溫度變化，須藉著溫室管理作業來配合。

二、二氧化碳

花卉生產使用設施栽培時，在酷寒或寒流頻頻來襲時採用密閉方式防寒5～6小時後，造成二氧化碳不足，在冬季時常造成保溫與二氧化碳調整操作之矛盾現象，打開窗戶換氣，但氣溫下降，解決方法是使用二氧化碳產生器補充二氧化碳，也就增加了生產成本(Nelson，1985)，臺灣在生產高冷地花卉使用溫室設施易受氣候變遷影響，寒冬低溫期過長時密閉系統栽培易有此困擾。但是從另外一角度，田間栽培及簡易設施栽培，由於二氧化碳是主要溫室氣體經由燃料燃燒產生，以及土地使用改變及栽培作物種類異動，使二氧化碳濃度逐漸增加，成為溫室效應的氣體使氣溫上升及乾燥(楊，1996)，在此前提下，氣溫上升對花卉花芽分化與發育及花卉品質均有影響。臺灣在開放空間條件下生產花卉。對二氧化碳濃度逐漸增加情況下，傾向對氣溫升高的反應趨勢，如此對高品質的溫帶花卉生產將是一大瓶頸，勢必提高經營成本，企圖去降溫以符合其生育適溫。二氧化碳增加對花卉開放空間的田間栽培或簡易栽培之影響為間接促成溫度升高而影響花卉生產。

三、降雨

降雨對花卉的生產特別是採種及切花生產易引起花瓣積水導致腐爛，雨水滴落打擊更損傷花的外觀，理想的花卉產地是在雨量少，但是須有灌溉設備及水源滿足供給所需。台灣主要花卉產地中南部雨季一般均由三月下旬開始延至七、八、九月之陣雨，九月下旬在進入乾旱季節，所以臺灣花卉產地中南部有雨季、乾旱季節之分，氣候變遷常導致三月下旬開始霪雨不斷，此時盛開的花朵常受損，並在此時，相對濕度高，加上雨季使氣溫降低會導致灰黴病、軟腐病之發作流行。而在北部、東北部等近郊園藝盆花、盆栽等花卉產地，夏季有驟雨，盛夏季節八月約有一個月的乾旱期間，直到東北季節風在九月底帶來細雨。因此在北部、東北部之花壇植物於三月陽春生產望季不因降雨之危害，唯近年氣候變遷在東北部雨季在三月上旬或二月下旬起，在低溫時春雨綿綿對室外盆花生產或遊樂區如杜鵑開放常造成摧殘縮短花期。近年來臺灣地區有降雨頻率下降與雨量不均的變遷，對大氣相對濕度與供水造成不利影響。

四、日照

光線、日照是影響花卉生長與開花的重要環境因子，尤其光周期更是影響由營養生長轉換至生殖生長的關鍵之一，有些花卉種類依其生育習性對光周期之影響相當敏感，有些則主要以受溫度之影響(Boodley，1981)，而光強度與光質的改變會影響花卉的生育包括細胞分裂素Cytokinin及激勃素Gibberellin的含量與活性，導致整體植物荷爾蒙分佈與含量改變而影響花卉生育。氣候變遷導致春季低溫陰雨綿綿，日照光強度減弱常改變花卉的生育，造成徒長或開花數減少，此在北部、東北部花壇植物及盆花常造成品質低下。中南部地區日照量變遷常伴合低溫變動影響花卉品

質，尤其是花青素之發育等對花色的展現有所影響。一般而言，日照量降低之氣候常造成作物之減產(林，1993)，花卉作物也不例外。

五、臺灣之花卉生產基於地域性的微氣象變化與各種花卉的生育習性，攸關於花卉產業的抉擇與成敗。由於基本上是海洋性亞熱帶氣候，但北部、東北部及主要產地之中南部的秋冬氣候差異相當大，加上花卉作物產地分佈於不同海拔地區。因此目前經濟栽培現有的花卉種類涵蓋了熱拜性及溫帶性花卉(黃，1996)，猶有甚者，由於全球氣候的變遷對整個花卉產業之發展，必然會造成成本與品質產量之影響，因應調適措施與策略如下：

(一)選擇適當的品種：由於全球氣候變遷氣溫有溫暖化的傾向，大部份高品質的溫帶花卉如東亞蘭、香石竹等，在花芽分化、花芽發育時遇上高溫常造成花芽夭折、著色不良、品質低下，因此針對氣候變遷的趨勢選擇適當的種類及品種是相當重要的。

(二)改善栽培設施：為了因應氣候變遷，栽培設施之運用宜避免使用燃料能源及冷氣電力，在使用上注意其運用效率。注意發展設施結構設計之研發充分利用自然通風或水霧降溫及其他輔助園藝資材來達到理想的栽培環境。使用燃燒油料及火力電力只有更造成惡質化的氣候變遷。

(三)注意水資源之利用：由於全球氣候變遷造成雨量的不均及乾冷現象的產生，水荒與水災侵襲，未雨綢繆之計，注意水資源之利用如荷蘭花卉業者建造雨水蓄水池充分利用貯存，面對雨量不均趨勢注意貯存、利用與回收灌溉水的科技研究是必要的。

(四)園藝栽培資材之研發與利用：全球氣候變遷造成高溫化或極端酷寒、紫外線危害、土溫的問題，可藉著園藝資材的開發與利用，而得到部份解決，如抗紫外線覆蓋資材，栽培資材容器集約栽培來達到改善。

伍、蔬菜

蔬菜作物一般生長快速，生長期相對較短。短期葉菜類生育期在20-45天左右；結球葉菜、瓜類及其他根、莖、花、果菜類則在45-90天左右；僅少數蔬菜如苦瓜、絲瓜、大蒜、及洋蔥等之生育期較長，蘆筍、竹筍則為多年生作物。由於蔬菜作物大多較鮮嫩脆弱，且對環境因子變化較敏感。因此生育期受到氣候條件之影響十分大(沈，1993；楊等，1994)。

本省地跨熱帶及亞熱帶，屬海島型氣候，因受到大陸氣候及海洋暖流經過之影響，氣溫、濕度及雨量明顯較同緯度之其他地區為高，十分適合蔬菜作物之生長。但因季節性氣候變化大，天然限制因子相當多，每年春夏之交有梅雨，夏季除異常高溫外，又多颱風暴雨，冬季多季節風且偶有寒流，氣候十分多變，造成蔬菜生產上產量及品質不穩定(沈，1993；蔡等19)。以本省蔬菜生產量分布來看，每年5-10月高溫期約佔32%，11月至次年4月之冷涼期則佔68%(許，1997)。固然二期稻作後轉為裡作蔬菜面積增加是造成蔬菜產量較多的主因，但夏季高溫多雨多颱風，蔬菜生產困難，冬、春季溫度冷涼栽培容易卻也是另一個重要因素。溫度是影響植物生長發育最重要的因子。因此蔬菜生育過程中各階段的生理代謝作用如光合作用、呼吸作用、碳水化合物之合成、轉運、養水份之吸收、細胞之增殖生長，進而開花、受精、結果、成熟、老化，以至於最終作物之產量與品質等均受到溫度之影響(黃，1990)。然而每一作物皆有其最適生長溫度範圍(Optimal temperature ranges)，此一溫度會隨生育階段之不同而有所改變。通常溫度如高於或低於此一範圍，即對作物造成生長逆境，會導致生長量減少，生長速率減慢。但此逆境之影響，除非將植株放在極端溫度下

(Temperature extreme)，否則一般因溫度改變所造成之生育影響，其差異並不容易察覺。

蔬菜作物可概分為涼季蔬菜與暖季蔬菜，其最適溫度及最高、最低忍受溫如表一所示(Lorenz and Maynard，1990)。其中除莧菜、甜玉米兩種C4型作物及其他未列入之瓜類蔬菜較適應高溫環境外，其餘大部分蔬菜之最適生長溫度範圍均在15-23.9℃之間。若以本省夏季月均溫而言，每年至少有六個月超過24℃以上，亦即多數蔬菜已生長在高溫逆境環境下。是以，如果因全球性之暖化而致使本省氣溫繼續上升，則本省夏季高溫期將更延長。尤其平均絕對最高溫度將更高，對原本就受到限制的夏季蔬菜生產將更趨困難，且可供選擇栽培利用的蔬菜種類或品種也可能受到環境淘汰而減少(林，1993)。相反的，涼溫季節將會因氣溫上升而縮短，而據推冬季溫度之上升會較夏季明顯(楊，1993；Reilly，1996)，則原本供應市場多樣化的蔬菜產品，如在晚春的延遲栽培及早秋的早生栽培的涼季蔬菜，會因夏季高溫的提早來臨與延遲結束而受到影響。雖然溫度的升高與夏季的延長對喜好高溫的瓜類作物有利，但根據預測未來氣溫上升後，水份蒸發散量增加，大氣中水份含量將由現今的1%更為增高，將使溫室效應加劇，日射量減低；同時嘉南地區的夜溫會明顯上升(林，1993)。這對原本喜歡日夜溫差大、日照充足的瓜果蔬菜的生產類而言，將十分不利。

表十、蔬菜生長之最適、最高、及最低月平均溫度

	蔬　菜　種　類	溫度		
		最適	最高	最低
暖季蔬菜	菜豆、萊豆	15.6-21.1	27.0	10.0
	甜玉米、豇豆、番杏	15.6-23.9	35.0	10.0
	隼人瓜、南瓜	18.3-23.9	32.2	10.0
	胡瓜、甜瓜	18.3-23.9	32.2	15.6
	甜椒、番茄	21.1-23.9	26.7	18.3
	茄子、辣椒、黃秋葵、西瓜	21.1-29.4	35.0	18.3
涼季蔬菜	野苦苣、細香蔥、大蒜、分蔥	12.8-23.9	29.4	7.2
	根菾菜、蠶豆、青花菜、抱子甘藍辣根、羽衣甘藍、球莖甘藍、蘿蔔菠菜、蕪菁	15.6-18.3	23.9	4.4
	朝鮮薊、食用薊、花椰菜、芹菜、結球白菜、苦苣、萵苣、芥菜、芫荽、豌豆、馬鈴薯	15.6-18.3	23.9	7.2

*資料摘自：Lorenz and Maynard, 1980.

二氧化碳是主要溫室氣體，其濃度的增加是造成全球性氣候暖化的主因，記錄顯示1991年全球平均二氧化碳濃度已高達355ppm，是工業革前二氧化碳濃度的兩倍，(楊，1993)。然而二氧化碳是行光合作用的原料，是植物賴以存活、生長的重要物質。許多研究指出，在其他條件不變的環境下，植物光合作用效率與大氣中二氧化碳之濃度成正比(簡，1993)。基於這原理，多種溫室蔬菜如:番茄、甜椒、茄子、胡瓜、洋香瓜、

山東白菜、青江白菜、萵苣、菠菜等之生產，利用二氧化碳施肥技術以提高環境CO_2濃度與光合作用效率，進而加快作物生長速率，提高產量(楊，1993；雷，1993；Acock *et al.*, 1990；Hayman，1988；Tripp *et al.*，1991；Woodward *et al.*，1991)。因此，就植物生理與作物栽培觀點而言，CO_2濃度上升有利於光合作用之進行，可能成為蔬菜作物增產的有利條件。但若因CO_2濃度上升，導致溫度上升，日照強度降低則其增產效果將不明顯(林，1993)。

本省氣象高溫多濕，平均年降雨量在2000公厘以上，其區域降雨特性，除北部冬春季陰濕多雨，西南部則為乾旱外，降雨在全年的分布並不均勻，其中多數降雨集中在每年的六、七、八、九月(廖及陳，1997)。由於本省蔬菜生產大多數靠人工引水灌溉，並不完全仰賴降雨補充土壤水份。故形成每年秋冬季氣候冷涼、乾燥，極適蔬菜之生產，常造成生產過剩；而夏季則因高溫、多雨害，致蔬菜生產因難，而造成供應量少而不穩定，市場價格嚴重波動的現象(許，1997；張簡及張)。據台灣農業年報統計，歷年因降雨或淹水對蔬菜生產所造成之損失，僅次於颱風而列於第二。其造成損失之原因除單位時間降雨量與持續降雨時間外，尚包括降雨時雨滴衝擊所造成之直接性機械傷害(Adlikari and Paje，1992)。因此，在高降雨量之情形下，常造成破壞地上部，根系淹水受損，同時因日照減少使生育減緩，產量降低。花椰菜在每天模擬降雨18mm之環境下，即造成植株生育明顯降低，葉面積及花蕾變小，花蕾品質降低之不利結果(Adlikari and Paje，1992)。就葉菜類而言，一般在播種至苗期降雨之受最為脆弱，生育中期至收穫前則最忌豪雨之衝擊而造成枝葉破損。由於葉菜類極為脆嫩，市場銷售要求新鮮完整，故一般災害損失評估雖未達100%，但其實際市場銷售價值已降為零。降雨的另一為害情形為豪雨後造成田區排水不良，致使作物長時間處於浸水狀態下，根部因缺氧壞死而失去吸收功能，引起地上部萎凋，生長減緩、停頓，甚或死亡(張與黃，1994)。前人研究亦指出從栽培期間降雨量與降雨時間對葉菜生育影響之結果顯示(林，1996)，小白菜產量隨其連續三日降雨量每增加100mm，會使產量減少20%；就其生長速率而言，則連續降雨所造成之影響明顯大於單日降量(翁等，1996)。面對全年各季節之雨害，生產者大多根據作物生育特性與其產品價值分別採取不同覆蓋物、簡易雨棚、或固定設施來加以保護(沈，1993；張簡及張，1995；楊等，1994；簡，1993)。然根據過去90年台灣地區之溫度暖化(吳及辛，1992)及降雨變遷趨勢分析發現本省近年之降雨頻率減少，單次降雨量增加，且全年降雨分布有西南部減少，東北部增加之趨勢。這種變化對蔬菜生產之影響則有待進一步分析研究。

光對蔬菜作物生產之影響可區分為光強度，光質與光週期(日長)三部份。其中日長隨地球緯度之不同而改變，並不受氣候變遷之影響(郭等，1990)。但光強度與光質則受到空氣中水蒸氣，空氣污染物懸浮粒子吸收、折射以及臭氧層破壞等因素之影響。研究指出，陽光到達地表之輻射量會因大氣懸浮粒子之濁度(turbidity)增加而消減，同時可見光中不同波長光線之散射係數也會因空氣污染物之影響而改變(柳，19)。以台灣中部夏天為例，可見光約佔全日射量之46%，空氣中懸浮粒子增加時，可見光區藍光波段之能量上升，而紅光波段之能量則下降，因而改變日射品質，此種光質之改變對小白菜產量會產生影響，若將此現象更擴大至日光透過設施覆蓋物所形成的波長與光強度改變，則會對小白菜產生約10%的減產。(申及張，1993)。再者如氟氯碳化物會破壞臭氧層而使紫外線量增加，雖然紫外線對球莖甘藍之肥大與大白菜之結球有正面之影響(郭等，1990)，但過量紫外線亦會破壞植物細胞及DNA而對

作物造成損害，反而對蔬菜生產不利。

空氣污染乃泛指包括煙霧、氣體、臭味、蒸氣或懸浮粒子等污染物存在於大氣中，對生物的生存形成傷害，或造成生活上之不舒服者稱之(周，1993)。在主要空氣污染中，經證實對植物會產生傷害的有一氧化碳、二氧化硫、氮氧化物，氟化物、乙烯、氯化物、及次級污染物臭氧與過氧硝酸乙醯只脂(PAN)(林，1993；林及楊，1996；周，1993)。基於植物的特性，蔬菜作物對空氣污染物之為害亦相當敏感。近年來蔬菜園因空氣污染所引起的索賠糾紛增加許多(李，1991)，而田間調查且曾被發現產生空氣污染為害症狀的蔬菜作物也很多，其中包括番茄()；四季豆(周，1993)；芥菜(林，1993)；菠菜、小白菜、青江白菜、空心菜、芥藍、茼蒿、萵苣、芹菜、芫荽、蔥、毛豆、豇豆、洋香瓜、梨瓜、苦瓜(林及楊，1996)；及恭菜、葉用甘藷(張及詹，1996)等。一般主要污染物的為害濃度相當低，其中臭氧為40-60ppb及PAN為4-6ppb(張及詹，1996；張，1994)；二氧化硫則為800ppb(謝及紀，1996)。但實際田間或戶外調查時發現，高於前述濃度之頻率卻是相當高(張，1996)。空氣污染對蔬菜損害的程度主要與污染物的種類、濃度，與持續接觸的時間有密切關係，至於污染物之輸送與滯留則明顯受到氣象因子如盛行流及降雨的影響(楊，1993)。由於這些污染物主要來自汽機車、工廠等之廢排氣，因此一般以都會區近郊之危害頻率較高且較嚴重(張，1994)。至於酸雨則對作物的直接影響較小，但會間接經由土壤、水流及破壞植物抗性等方面對蔬菜生產造成影響(王等，1996；王及劉，1996)。

表十一. 蔬菜種子發芽與生長之適宜溫度

蔬菜種子發芽之土溫

蔬菜種類	最適	最高	最低	蔬菜種類	最適	最高	最低
玉　米	35.0	40.6	15.6	蕃　茄	29.4	39.5	10.0
黃秋葵	35.0	40.6	15.6	蕪　菁	29.4	40.6	4.4
南　瓜	35.0	37.8	15.6	菜　豆	26.7	35.0	15.6
西　瓜	35.0	40.6	15.6	胡蘿蔔	26.7	35.0	4.4
胡　瓜	35.0	40.6	15.6	花椰菜	26.7	37.8	4.4
萊　豆	29.4	29.4	15.6	蘆　荀	23.9	35.0	10.0
根恭菜	29.4	35.0	4.4	萵　苣	23.9	29.4	1.7
甘　藍	29.4	37.8	4.4	洋　蔥	23.9	35.0	1.7
恭　菜	29.4	39.5	4.4	芫　荽	23.9	32.2	4.4
茄　子	29.4	39.5	15.6	豌　豆	23.9	29.4	4.0
番　椒	29.4	39.5	15.6	芹　菜	21.1	29.4	4.4
蘿　蔔	29.4	39.5	4.4	菠　菜	21.1	29.4	1.7

*資料摘自：Lorenz and Maynard, 1980.

陸、果 樹

氣候變遷對生物圈會造成正面的和負面的影響(呂，1991)。溫度上升對果樹生產的影響有：果樹生產力的增加、果樹水利用率上升、果樹可生長期加長、果樹生長高度界限提高、果樹生長緯度界限向南北

兩極推移、微生物活動增加。但亦會負面的影響，負面的影響有：對生態系統的攪亂、對土壤有機物分解、土壤沖蝕、土壤酸化、鹽化和對沙漠化的加劇、水資源不足加劇、病蟲害之分佈、農業作物種類和品系消滅等。

一、主要的氣候因子包括：日照、溫度、二氧化碳、雨量、空氣污染等。大氣中溫室氣體的增加造成氣溫的上升。

㈠溫度：假使溫室氣體增加，則會使平均氣溫由15℃上升。熱帶地區上升較少。高緯度則上升二倍(IPPCC, 1990)。大氣層溫度上升是氣候變遷的主因。

㈡日照：因溫度上升而造成水之蒸發與蒸散量增加。雲量的增加，造成日光的透射量減少，這對小地區的影響會很大。例如：蘭陽地區陰雨天可能加多，嘉南地區悶熱夜晚可能加劇，這些都不利果樹的生長。

㈢二氧化碳濃度增加：二氧化碳濃度升高，光合作用中的反應基質強度增大，加速反應，因而光合作用加強，醣類產量增加。

㈣雨量：氣溫變化會引起降水區移動的趨勢，東部增加但西南部減少，全年降水則有東部北部增加，西南部減少的趨勢(吳和辛, 1994)。

㈤空氣污染：嚴重的影響果樹之生長與發育、光合作用等，造成減產之現象。

二、全球氣候變遷對及臺灣果樹之影響及因應之道：

㈠氣溫：

1.氣溫對臺灣落葉果樹生產之影響：

溫帶木本植物常因本身的老化及外界短日的影響，導致冬季的休眠。在自然狀態下，植物需要數個星期至數個月的低溫，才能打破芽體休眠。打破休眠所需要的低溫，是由植物個體的遺傳基因來決定。原產於較低緯度的落葉植物，有較低的低溫需求量，原產於中溫帶，冬季低溫呈冷暖不穩定的地區，植物為了確保耐寒性(Cold Hardiness)，常常具有較高的低溫需求量(倪及胡, 1995)。

休眠中的植物如果不能滿足其個體的低溫需求量，植株生長極為緩慢且衰弱。Chandler 等人(1937)，Hill and Campbell (1949)、Black(1952)、Skinner(1964)，歸納冬季低溫不足的病徵，包括花芽延後萌發或死亡、萌芽時間不整齊、果實發發育及成熟不整齊、樹勢老化等情況。Saure (1985)認為冬季低溫不足情況下，花芽要比其他芽體敏感而易受傷害。花原體容易枯死，導致花芽在隨後的不同發育階段凋落，也因而導致減產。

2.因應之道：

(1)育成少低溫需求品種。

(2)以氰胺等葯劑打破休眠。

(3)利用冬季高溫，調節產期。

(4)提高緯度或高度栽種落葉果樹(圖1)。

㈡雨量：

1.雨量對台灣果樹生產之影響：

及灣高海拔2000公尺地區，外來獼猴桃商業品種(*Actinidia deliciosa*)可產生大量的花蕾，但無法著果，主要關鍵在於盛花期常與梅雨季五、六月重疊。Abbott品種常在梅雨前2-3天開花，產量稍可，其他如世界最重要品種Hayward、Bruno及Monty幾乎年年與梅雨季節完全重疊，因此產量極低。尤其是Hayward幾乎無法結果。但是若以人工授粉，則產量顯著增加。軟毛獼猴桃(A. chinensis)則因與台灣野生種 *A. chinensis* Planch. Var. setosa Li 花期相同，而比 *A. deliciosa* 早10天至兩週開花，著果率極高，台灣另一野生種A. latifolia則在八月初開花，結果亦無問題(倪,1994)。

2.因應之道：

(1)針對獼猴桃而言，應育種出避免於梅雨季節開花，著果之品種。若以椪柑為例，水分對其品質影響很大，(Hilgemanl. *et al.*, 1970) 指出不可使椪柑於八月中遇旱害，否則果實糖度、酸度、Ascorbic acid及果皮

厚度等均會增加，而果型變小。

(2)(Levy *et al.,* 1978)，應避免葡萄柚夏季缺水，則可減少冬季果實酸度增加，酸度增高之效果會維持六個月之久。

㈢二氧化碳：

1. 二氧化碳對臺灣果樹生產之影響：

空氣中二氧化碳含量一般為360ppmV，表面上相當高，但實際上並不足供應植物光合作用旺盛進行時之需，例如：二氧化碳濃度高時，可將視其為二氧化碳施肥。在日照充足地區配合良好之肥培和植保管理，而將二氧化碳濃度提高至1000-2000 ppmV，則可增進作物生長，在臺灣之作物上有成功之例子。

2.因應之道：

事先著手於培育新品種使其適應新之栽培環境。

㈣日照：

1.日照對臺灣果樹之生產影響：

果樹利用光合作用將空氣中的二氧化碳固定，以增加其乾物質的蓄積。依波長可分為紫外光、可見光和近紅外光，其中僅有可見光提供了果樹光合作用時所需的能量。

與果樹光合作用量有密切關係的可見光子通量密度，會因所處地區大氣中水氣的含量，大氣中懸浮微粒的含量，或設施之被覆作物而改變。因而日照品質對果樹生產影響的程度是極為重要的。

2.因應之道：

(1)溫室所使用之被覆材料會選擇性的減少可見光的進入，使得 穿透日射中可見光與近紅外光的比值低於入射日射中的比值，故應避免不良之被覆材料。

(1)選擇良好之生長環境，可增加可見光之射入，提高光合作用 增進果樹生產。

㈤其他-空氣污染：

1.空氣污染對台灣果樹之影響：

空氣污染物主要有氣體及固體兩大部分，粒狀物質之空氣污染有許多種類，如燻煙、黑煙、塵粒、飛沫、飛灰等(張, 1991)。固體污染物之來源不同，其成份亦有很大差異對果樹造成之影響亦不同，如工業地區製造水泥之工廠，有大量水泥飄浮在工廠四週，造成人體及果樹很大之傷害。其對果樹造成之直接影響，嚴重影響其生長及發育，干擾葉面光線之吸收，影響光合作用，減少澱粉之形成，影響蒸散作用，其亦會落在土壤中，而使土壤pH值更趨向鹼性，而影響果樹之生長(朱,1990)。污染物會影響果樹之光合作用，因遮住了氣孔，遮蔽了陽光之故。果樹不同，污染物影響光合作用速率之結果是一致的，但亦會因種類不同，反應之程度不一(范, 1993)。

2.因應之道：

(1)避免果樹栽種於近工廠處。

(2)避免果樹栽種於鹼性土。

(3)避免果樹栽種於近公路旁。

柒、結　語

如前所述，氣候變遷對農業生產的確會造成相當大的衝擊，而人口的逐年增加，也同時提昇了吾人對農產品的需求。因此，雖然氣候變遷僅僅是影響農業生產的一項因素，吾人仍必須即時調整未來研究方向，一方面能更準確的預估氣候的可能變遷幅度，同時也必須提共充分的研究資料以為可能的因應措施。這些研究至少應涵蓋栽培時期、作物類別及品種、灌溉技術等層面，另方面，社會及經濟層面的相關研究，也應一併考慮，方能真正建立一完整有效的生產對策。而這些建立起來的生產對策，在透過研究的過程建立後，也需要透過推廣教育系統，使其落實到農民，才能真正解決未來吾人所必須面對的衝擊。

捌、參考文獻

王銀波 劉黔蘭 宋昌勳. 1996. 酸雨對農耕土壤的影響. 農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論

文專輯. p. 135-142，台灣省農業試驗所編印。
王銀波 劉黔蘭. 1996. 酸雨對農耕土壤的影響 中華農業氣象. 3 (3) :125-130。
台灣省農業試驗所特刊第16第45-57。
申雍 余淑玲. 1997. 台灣地區溫室降溫方式的評估. 中華農業氣象. 4(1):11-17。
申雍 張朝芬. 1993. 日射品質對小白菜生產影響之分析. 大氣品質與農業經營之關係研討會論文集. p.153-161., 國立台灣大學。
朱鈞 盧虎生 揚政國. 1997. 臭氧與氣候變遷之關係影響及其對水稻生產之影響. p. 225-167。
朱德民. 1990植物與環境逆境 國立編譯館.
吳明進. 1992. 台灣的氣候變化-氣溫和降水. 大氣科學. 20:295-318。
呂昌華. 1991. 溫室效應問題(續)世界環境 31 (11-14)：32.
李咋. 1987. 溫室之栽培管理技術 設施園藝研討會專集 台灣省農業試驗所編印 p. 143-152.
李建擇. 1997. 氣象因子對二期作延後種植水稻產量潛能及穀粒形狀之影響. 中華農業氣象。4(4)：207-219。
李國欽. 1991. 農業環境污染及其因應對策. 農業環境與水土資源保育利用. 中華民國農業團體80年聯合會。
沈再發. 1993. 設施園藝. 台灣蔬菜產業演進四十年專集. p.43-64, 台灣省農業試驗所編印。
周昌弘. 1993. 空氣污染對永續性農業之影響. 台灣地區空氣污染與農業氣象對作物生產影響研討會專輯. p.9-22, 台灣省農業試驗所編印。
周煒裕 宋濟民. 1996. 硫酸模擬之酸雨對水稻劍葉及穀粒之影響. p. 143-154。台灣省農業試驗所(編印)。農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯。
林文助. 1996. 降雨量對小白菜產損失率探討. 農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯. p. 203-207, 台灣省農業試驗所編印。
林正忠 楊淑惠. 1996. 大氣品質對南部地區園藝作物生產之影響. 農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯. p. 97-110, 台灣省農業試驗所編印。
林正忠 楊淑惠. 1996. 台灣南部地區空氣品質之週年變化及其對園藝作物之影響. 中華農業氣象. 3(4):183-196。
林正忠. 1993. 臺灣南部地區空氣污染類型及農作物污染防治. 臺灣地區空氣污染與農業氣象對作物生產影響研討會. p.23-31. 台灣省農業試驗所編印。
林孟輝 張學琨. 1996. 北部沿海地區季節風對水稻產量及品質之影響. p. 297- 312. 台灣省農業試驗所(編)。農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文 專輯。
林瑞松. 1998. 文心蘭高屏地區重要花卉專輯 高雄區農業改良場編印中。
林瑞松 主編 1994. 亞熱帶地區花卉設施栽培技術 台灣省農業試驗所特刊 47號. 300pp.
林鴻淇. 1993. 台灣農業生產對氣候變遷因應之道. 氣候變遷與農業生產. p.57-63 國立台灣大學農業化學系。
侯清利 黃天成. 1984. 一、二期稻作土壤環境、根部活力與產量之分析比較。
姚銘輝 漆匡時 蔡金川. 1996. 模擬酸雨對落花生生理反應之影響. p. 155-167. 台灣省農業試驗所(編印)。農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯。
柳中明. 1997. 懸浮微粒對太陽輻射場的影響之觀測與分析:寬頻大氣混濁度之反演 p.268-298. 台灣地區大氣環境變遷之研究. 國立台灣大學農業化學系。
范基南. 1993. 空氣落塵對作物生長之影響 Ⅱ.空氣落塵對作物發芽及光合作用速

率之影響. 大氣品質與農業經營之關係研討論文集. p.93-109.
倪正柱. 1994. 梅雨對種植於台灣高山之獼猴桃開花著果之影響 中國園藝40(4)：282-286.
倪正柱 胡澤寬. 1995. 梨低溫需求量之比較及其對產量的影響 農林學報44(1)：19-27.
孫岩章 詹婷婷. 1996. 台灣地區光化學煙霧污染及其影響. 農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯. p. 33-40, 台灣省農業試驗所編印。
孫岩章. 1994. 台灣北部地區O_3對頁用甘藷及菠菜之影響. 中研院植物學彙刊. 35(3):165-170.
翁仁憲 漆匡時 許苑培 戴振洋 郭孚燿 林文助 楊文振 陳任芳. 1996. 氣候因子對不同地區小白菜生育之影響. 農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯. p.277-285. 台灣省農業試驗所編印。
張志因 黃鵬. 1994. 浸水逆境對小黃瓜及甘藍生長及產量之影響. 花蓮區農業改良場研究彙報第十輯。
張能復. 1991. 污染源介紹及污染物擴散-空氣污染取自"公害鑑定研習講義，行政院環境保護署"p.66-127.
張能復. 1996. 都市區臭氧污染潛勢分析及防治之研究. 環保署委託計畫報告
張簡秀容 張粲如. 1995. 台灣短期葉菜類產業之概況及展望. p.153-166. 台灣蔬菜產業改進研究研討會專輯. 台中區農業改良場編印。
許漢卿. 1997. 台灣地區蔬菜產銷失衡與對策. 蔬菜生產預測研討會 國立中興大學。
郭忠吉 陳美惠 陳秀珠. 1990. 精緻蔬菜生產與光之管理. 精緻蔬菜生產進研討會專集. p.81-89. 桃園區農業改良場編印。
陳世雄 楊策群 朱德民 張英勝. 1991.乾犁田改進二期作的土壤通氣。中華農藝學會. 155：30-39。
陳宗禮. 1992. 高二氧化碳對水稻生育與穀粒充實之影響. 國立中興大學博士論文。
黃敏展. 1996. 台灣花卉產業在世界花卉產業上的特徵和位置. 第30回科技技術研討會，主題：生物技術與花卉產業發展研討會專輯. 日本交流協會主編 p. 13- 20.
黃涵 洪立. 1988. 台灣蔬菜彩色圖鑑. 國立台灣大學編印。
黃涵. 1990. 精緻蔬菜生產之溫度及其管理. 精緻蔬菜生產進研討會專集. p.65-80. 桃園區農業改良場編印。
楊之遠. 1993. 氣象因素對污染物傳送及農作物集團之影響. 台灣地區空氣污染與農業氣象對作物生產影響研討會專輯. p. 1-8, 台灣省農業試驗所。
楊盛行. 1996. 氣候變遷與農業生產. 氣候變遷與農業生產論文專輯. p.65~83. 台北。
楊紹榮 鄭景容 余何. 1994. 簡易覆蓋資材在夏季葉菜類防雨栽培之評估. 設施園藝之研究與技術開發計畫執行成果報告 p. 266-268.
鄔宏潘. 1978. 氣象因素及地區對一、二期作稻產量之影響. p.7-8, p.39-47. 謝順景、劉大江(編). 台灣二期作稻低產原因及其解決方法研討會專集。
廖志翔 陳雲蘭. 1997. 民國86年6月2日～16日台灣梅雨期間之綜觀特徵及豪雨個案分析. 中華農業氣象. 4(4):171-191。
蔡金川 漆匡時 姚銘輝 劉慧瑛 梁連勝 劉復誠 李炳和. 1996. 不同設施栽培對葉菜類蔬菜之影響. 農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯. p. 209-224. 台灣省農業試驗所編印。
鄭混元. 1996. 東南部茶區氣象條件對茶樹芽葉生育之影響. p. 225-242。台灣省農業試驗所(編). 農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯。

蕭榮福 謝式坪鈺 呂明長 高碩廷 蕭淑芬. 1993. 農作物對二氧化硫之忍受性。p. 153-182. 台灣省農業試驗所(編)。台灣地區空氣污染與農業氣象對作物生產影響研討會。

賴永昌 李炳和 劉復誠. 1996. 氣象因子對甘藷塊根產量的影響. p. 251-260. 台灣省農業試驗所(編). 農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯。

謝式坪鈺 紀廷勳. 1996. 二氧化硫對蔬菜作物之傷害及和黑斑病發生之交互作用. 農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯. p. 53-72, 台灣省農業試驗所編印。

簡道南. 1993. 二氧化碳施肥增進作物生長. 大氣品質與農業經營之關係研討會論文集. p.151, 國立台灣大學。

Akong'a, J., T. E. Downing, N. T. Konijn. D. N. Mungai. H. R. Muturi and H. L. Potter. 1988. The effects of climatic variations on agriculture in Central and Eastern Kenya. Vol. 2. p. 123-270. *In:* Parry. M. L., T. R. Carter. and N. T. Konijn (eds.) The impact of Climatic Variations on Agriculture. Assessments in Semi-Arid Regions. Kluwer Academic Press. Dordrecht. Netheriands.

Acock, B., M. C. Acock and K. Pasternak. 1990. Interactions of CO_2 enrichment and temperature on carbohydrate production and accumulation in muskmelon leaves. 115(4):525-529.

Adhikari, R.R. and M.M. Paje. 1992. Adaptational response of cauliflower cultivars to rain-simulated excess water. *In* : Kuo, C.G. (ed.) Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. AVRDC, Taiwan.

Allen, S. G., S. B. Idso. B. A. Kimball. J. T. Baker. H. L. Allen. J. R. Mauney. J. W. Radin and M. G. Anderson. 1990. Effect of Air Temperature and Atmospheric CO_2 Plant Growth Relationships. Report TR 048. U. S. Department of Energy/ U.S. Department of Agriculture. Washington. DC. 60pp.

Bazzaz, F. A. and E. D. Fajer. 1992. Plant life in a CO_2-rich world. Scientific American. 26(1). 68-74.

Black, N. W. 1952. The problem of prolonged rest in deciduous fruit trees. p. 1122-1131. *In*： Proc. 13th Intern. Hort. Congr. Vol. 2, London.

Brammer, H., M. Asaduzzaman and P. Sultana. 1994. Effects of Climate and Sec-Leret Changes on the Natural Resources of Bangladesh. Briefing Document No. 3. Bangladesh Unnayan Parishad (BUP). Dhaka. Bangladesh. 35 pp.

Carter, T. R., M. L. Parry and J. R. Porter. 1991a. Climate change and future agroclimatic potential. European Interna - tional Journal of Climatology. 11. 251-269.

Carter, T. R., J. R. Porter and M. L. Parry. 1991b. Climatic warming and crop potential in Europe ： prospects and uncertainties. Global Environmental Change. I. 291-312.

Cast. 1992. Preparing U. S. Agriculture for Global Climate Change. Task Force Report No. 119. Council for Agriculture Science and Technology. Ames. IA. 96 pp.

Chandler, W. J., N. H. Kimal, G. L. Philip, Jufts and G. P. Weldon. 1937. Chilling requirements for opening of buds on deciduous orchard trees and some other plants in California. Bull. Cal. Agr. Exp. Stn. p.611.

Cohen, S., E. Wheaton and J. Masterton.

1992. Impacts of Climatic Change Scenarios in the Prairie Provinces : A Case Study from Canada. SRC Publication No. E-2900-4-D-92. Saskatchewan Research Council. Saskatoon, Canada, 157 pp.

CSIRO. 1993. Agriculture & Greenhouse in South-Eastern Australia. CSIRO. Department of Conservation and Natural Resources, and Department of Agriculture. Melbourne. Australia. 5 pp.

Cure, J. D. and B. Acock. 1986. Crop responses to carbon dioxide doubling. a literature survey. Agric & Forest Meterol. 38:127~145.

Cure, J. D., D. W. Israel and T. W. Rufty. 1988. Nitrogen stress effects on growth and seed yield on nodulated soybean exposed to elevated carbon dioxide. Crop Science. 28. 671-677.

Gent, M. P. N. 1988. Effect of diurnal temperature variation on early yield and fruit size of greenhouse tomato. Appl. Agric. Res. 3(5):257-263.

Gifford, R. M. and J. I. L Morison. 1993. Crop responses to the global increase in atmospheric carbon dioxide concentration. p. 325-331. *In* : International Crop Science. vol. I. Crop Science Society of American. Madison. WI.

Hayman, G. 1988. Tomatoes — a review of current research and development on glasshouse environment and fruit quality in the UK. Appl. Agric.Res. 3(5):269-274.

Hennessy, K. J. and K. Clayton-Greene. 1995. Greenhouse warming and vernalisation of high-chill fruit in southern Australia. Climatic Change, 30(3). 327-348.

Hilgeman, R. H. and F. O. Sharp. 1970. Response of "Valencia" orange trees to four soil water schedules during 20 years. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 95 : 739-745.

Hill, A. G. G. and G. K. G. Campbell. 1949. Prolonged dormancy of deciduous fruit trees. Empire. J. Expt. Agr. 17 : 259-264.

Hobbs, J., J. R. Anderson. J. L. Dillon and H. Harris. 1988. The effects of climatic variations on agriculture in the Australian wheat belt. *In* : The Impact of Climatic Variations on Agriculture. Vol. 2. Assessments in Semi-Arid Regions Parry. M. L., T. R. Carter. and N. T. Konijn (eds.) Kluwer Academic Press. Dordrecht. Netherlands. pp. 665-753.

Horie, T. 1987. The effects of climatic variation and elevated CO_2 on rice yield in Hokkaido. Vol. 1. p. 809-825. *In* : Parry. M. L., T. R. Carter. and N.T. Konijn (eds.) The Impacts of Climatic Variation on Agriculture. Cool Temperate and Cold Regions Kluwer Academic Press, Dordrecht, Netherlands,

Horie, T. 1991. Growth and yield of rice and climate change. Agric. Horti., 66. 109-116.

Hulme, M., T. Wigley, T. Jiang, Z. Zhao, F. Wang. Y. Ding, R. Leemans and A. Markham. 1992. Climate Change Due to the Greenhouse Effect and Its Implications for China. CRU/WWF/SMA. World Wide Fund for Nature. Gland. Switzerland.

Jin, Z., H. C. Daokou Ge and J. Fang. 1994. Effects of climate change on rice production and strategies for adaptation in southern China. p. 1-24. *In:* Rosenzwig, C. and A. Iglesias (eds.) Implications of Climate Change for International Agriculture : Crop Modeling Study U. S. Environmental Protection Agency,

China chapter, Washington, DC.

Kimball, B. A. 1983. Carbon dioxide and agriculture yield：an assemblage and analysis of 430 prior observations. Agronomy Journal. 75. 779-788.

Kimball, B. A., J. R. Mauney. F. S. Nakayama and S. B. Idso. 1993. Effects of elevated CO_2 and climate variables on plants. Journal of Soil and WaterConservation. 48. 9-14.

Kimball, B. A., N. J. Rosenberg and L. H. Allen. Jr. 1990. Impact of Carbon Dioxide. Trace Gases. and Climate Change on Agriculture. ASA Special Publication No. 53. American Society of Agronomy. Crop Science Society of American. and Soil Science Society of American Madison. WI. 133 pp.

Koerner, C. 1993. CO_2 fertilization：the great uncertainty in future vegetation development. p.53-700. *In* : Solomon. A. M. and H. H. Shugart (eds.) Vegetation Dynamics and Global Change Chapman and Hall. New York. NY.

Lawlor, D. W. and A. C. Mitchell. 1991. The effects of increasing CO_2 on crop photosynthesis and productivity：a review of field studies. Plant. Cell and Environment. 16. 603-608.

Lev, Y., A. Bar-Akira and Y. Vaadia 1978. Influence of irrigation and Environmental factors on grapefruit acidity. J Amer. Soc. Hort. Sci. 103(1)：73-76.

Lin, E. 1994. The sensitivity and vulnerability of China's agricultural to global warming. Rural Eco-Environmental, 10 (1), 1-5.

Lorenz, O.A. and D.N. Maynard. 1980. Knott's handbook for vegetable growers. Wiley-Interscience. p.48-51.

Magadza, C. H. D. 1994. Climate change：some likely multiple impacts in southern Africa. Food Policy. 19(2). 165-191.

Mendelsohn, R., W. D. Nordhaus and D. Shaw. 1994. The impact of global warming on agriculture：a ricardian anaysis. American Economic Review, 84 (4). 753-771.

Menzhulin, G. V. 1992. The impact of expected climate changes on crop yield：estimates for Europe. the USSR. and North American based on paleoanalogue secnarios. *In* : Global Climate Change：Agriculture. Forestry and Natural Resources. Reilly, J. M. and M. Anderson (eds.) Westview Press. Boulder, Co. p. 353-381.

Mitchell, R. A. C., V. J. Mitchell. S. P. Driscoll. J. Franklin and D. W. Lawlor. 1993. Effects of increased CO_2 concentration and temperation on growth and yield of winter wheat at two levels of nitrogen application. Plant Cell and Environment. 521-529.

Mooney, H. A. and W. Koch. 1994. The impact of rising CO_2 concentrations on the terrestrial biosphere. Ambio. 23 (1). 74-76.

Muchena, P. 1994. Implications of climate change for maize yield in zimbabwe. p. 1-9. *In* : Rosenzweig, C. and A. Iglesias (eds.) Implications of Climate Change for International Agriculture：Crop Modeling Study U. S. Environment Protection Agency, Zi mbabwe chapter, Washington, DC.

Nelson, P.V. 1985. Greenhouse Operation and Management. Reston Publishing Company, Inc. Reston, Virginia USA. 598 pp.

Ominde, S. H. and C. Juma. 1991. A Change in the Weather：Africa Perspectives on

Climatic Change. ACTS Press. Nairobi, Kenya.

Ottichilo, W. K., J. H. Kinuthia. P. O Ratego and G. Nasubo. 1991. Weathering the Storm : Climate Change and Investment in Kenya. ACTS Press. Nairobi, Kenya, DC, 52 pp.

Parry, M. L., M. Blantran de Rozari, A. L. Chong and S. Panich. 1992. The Potential Socio-Economic Effects of Climate Change in South-East Asia. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.

Pittock, A. B. 1989. The greenhouse effect, regional climate change and Australian agriculture. *In* : Proceedings of the Fifth Agronomy Conference, Australian Society of Agronomy, Parkville, Australian, pp. 289-303.

Reilly, J. 1996. Agriculture in a changing climate impacts and adaptation. p.427-467. *In*: Watson R. T. , M. C. Zinyowera, R.H. Moss and D. J. Dokken(eds.) Climate Changes 1995: Impacts, adaptations and mitigation of climate change scientific-technica l analyses. Cambridge Univ. Press. pp427-467.

Rogers, H. H., G. B. Runion and S. V. Krupa. 1994. Plant responses to atmospheric CO_2 enrichment with emphasis on roots and the rizosphere. Environment Pollution. 83. 155-189.

Rosenzweig, C. and A. Iglesias. 1994. Implications of Climate Change for International Agriculture : Crop Modeling Study. EPA 230-B-94-003. U. S. Environment Protection Agency, Washington, DC, 321pp.

Schulze, R. E., G. A. Kiker and R. P. Kunz. 1993. Global climate change and agricultural productivity in southern Africa. Global Environmental Change, 4(1), 329 - 349.

Singh, U., D. C. Godwin and R. J. Morrison. 1990. Modelling the impact of climate change on agricultural production in the south Pacific. p. 24-40. *In* : Hughes, P. J. and G. McGregor (eds.) Global Warming -Related Effects of Agriculture and Human Healt h and Comfort in the South PacificSouth Pacific Regional Environment Programme and the United Nations Environment Programme. University of Papua New Guinea, Port Moresby, Papua New Guinea.

Skinner, E. J. 1964. Delayed foliation. Decid Fruit Growth. 14 : 195-197.

Slrotenko, O. D. 1991. Nmntiaiinohhar enetema kanmat-ypokak. Meterologia and gidrologia. 4.67-73(in Russian).

Slrotenko, O. D. and E. V. Abashina. 1994. Impact of global warming on the agroclimatic resources and agriculture productivity of Russia(result of the simulation). Meteorology and Hydrology. 4.

Slvakumar, M. V. K. 1993. Global climate change and crop production in the Sundano-Sahelian zone of west Africea. *In* : International Crop Science. vol. I. Crop Science Society of America, Madison. WI.

Sombroek, W. and R. Gommes. 1993. The climate change-agriculture conundrum. Paper presented at the Expert Consultation on Global Climate Change and Agricultural Production : Direct and Indirect Effects of Changing Hydro- logical. Soil and Plant Physiolog ical Processes. FAO. 7-10. December 1993, 300pp.

Strain, B. R. and J. D. Cure. 1985. Direct Effects of Increasing Carbon Dioxide on

Vegetation. DOE/ER-0238. Carbon Dioxide Research Division. U. S. Department of Energy. Washington. DC. 286pp.

Tripp, K. E., M.M. Peet, D. M. Pharr, D. H. Willits and P. V. Nelson. 1991. CO_2-enhanced yield and foliar deformation among tomato genotypes in elevated CO_2 environments. Plant Physiol. 96(3): 713-719.

Wang, Y. P. and R. M. Gifford. 1995. A model of wheat grain growth and its application to different temperature and carbon dioxide levels. Australian Journal of Plant Physiology(in press).

Wang, Y. P., Jr. Handoko and G. M. Rimmington. 1992. Sensitivity of wheat growth to increased air temperature for different scenarios of ambient CO_2 concentration and rainfall in Victoria, Australia---a simulation study. Climatic Research 2: 131-149.

Wolf, J. 1993a. Effects of climate change on wheat and maize production in the EC. p. 93-119. *In*: Kenny, G. J., P. A. Harrison. and M. L. parry (eds.) The Effect of Climate Change on Agricultural and Horticuitural Potential in Europe Environmental Cha nge Unit. University of Oxford. Oxford. UK.

Wolf, J. 1993b. Effects of climate change on wheat production potential in the European Community. European Journal of Agronomy 2: 281-292.

Woodward F. I., G. B. Thompson and I. F. Mckee. 1991. The effects of elevated concentrations of carbon dioxide on individual plants, populations, communities and ecosystems. Ann-Bot. 67(1):23-38

Zhang, H. 1993. The impact of greenhouse effect on double rice in China. In: Climate Change and Its Impact. Meteorology Press. Beijing. China.pp. 131-138.

Ziska, L. H., O. Namuco, T. Moya and J. Quilang. 1997. Growth and yield response of field-grown tropical rice to increasing carbon dioxide and air temperature. Agron. J. (89):45-53.

Chapter 3 The Impact and The Adaptive Strategies of Global Climate Change on Agricultural Production

Jih Min Sung, Shih Shiung Chen and Man Shing Yeh,
Department of Agronomy, Natl. Chung Hsing University
Rney Song Lin, Wen Shan Lee and Cheng Chu Nee
Department of Horticulture, National. Chung Hsing University

Abstract

Agricultural production is known to be affected by climate change. However only limited studies are conducted in Taiwan. In general, higher temperature has positive impact on C_4 crop species. Elevated CO_2 may also be beneficiary to C_3 crop species. Shorter-season flowers and vegetable crops are some what climate change-independent. Tropical fruit trees seem to be more responsive to elevated temperature and CO_2. However, for meeting the demand in food need in the future researches related to climate change are needed.

Key word：Climate change，Higher temperature，Elevated CO_2, Agricultural productivity.

氣候變遷對農作物生產之影響
第4章　全球氣候變遷對農作物病害發生影響及
因應策略 59-71, 1998

第四章　全球氣候變遷對農作物病害發生影響及因應策略

黃益田　蕭淑芬
臺灣省桃園區農業改良場

摘要……60
壹、前言……60
貳、病原的發生、繁衍與流行……61
參、對病害發生之影響……63
肆、因應策略……65
伍、結語……66
陸、引用文獻……66
英文摘要……71

第四章　全球氣候變遷對農作物病害發生影響及因應策略

黃益田　蕭淑芬
臺灣省桃園區農業改良場

摘　要

本文主要介紹近年來有關氣候變遷對農作物病害影響方面之研究成果及趨向。主要內容包括引起溫室效應之大氣成分二氧化碳、臭氧及紫外線對病原之效應；氣候變遷對病害發生與流行之影響。氣候變遷因素二氧化碳、臭氧及紫外線對寄主和病原具直接和間接的作用而左右其發病程度。紫外線可抑制胞子發芽、抑制產胞、增加病原發生變異的機會或影響寄主產生生理生化反應，造成植株對病原的感受性有所不同。在病害流行方面，利用模擬模式研究氣候變遷對病害所造成之影響，顯示病害發生之風險性因地而異；分析聖嬰現象對病害之影響，發現小麥銹病與南方振盪指數(SOI)有凝聚關係。此外，並介紹因應氣候變化之對策，以及未來研究之方向。

關鍵詞：全球氣候變遷，農作物病害，發生，因應策略。

壹、前　言

呂氏春秋審時篇云：〝凡農之道，厚(候)之為寶〞，可見氣候對農業生產之重要，自古而然。然而，自古至今，氣候一直在變動不息，不但季節上之變化每年不同，而且前後十年或百年之間，氣候之變化亦皆不相一致(劉, 1992)。年別間之氣候變化，造成農作物收穫有豐歉之別。部分凶歉直接由氣候異常所致，如霜害、潮風害、颱風、焚風害、冷害、雨水害等。至於氣候變異(climatic variability)對病害發生之影響，其例頗多，如1930年代之玉米細菌性萎凋病(Stewart's bacterial wilt)；1943年孟加拉大飢荒，係由於氣候條件適於胡麻葉枯病菌*Helminthosporium oryzae*繁衍，持續2個月，造成流行，以致二百萬人餓死。在本省，水稻病害亦受氣候影響；早在1935年，Sawada即報導氣候條件影響稻熱病之消長。1980年，黃氏報導稻熱病發生之輕、中、重與地區之氣候條件有關。近年來，鄰近之日本在1993年平成之大凶作，部分原因係氣候異常造成稻熱病之發生所致，如東北地方南部宮城縣，葉稻熱病比平年增加210%，穗稻熱病增加265%。北日本之福島縣，葉稻熱病增加198%，穗稻熱病增加333%。

一般而言，氣候對病害之影響研究多偏重日別間之天氣條件而較忽略年別間之氣候變異。因此，氣候變異對植物病害影響之研究之文獻甚少。反之，在氣象變數(meteorological variables)對傳播(dissemination)、感染(infection)、潛伏(incubation)、產胞(sporulation)及病原在田間之存活(survival)及寄主對病勢發展之反應等諸種特定效應之研究則較多(Colhoun, 1973; Jeger, 1987; Rotem, 1987; Schrodter, 1975)。

至於工業革命以後，人類活動改變了地

球空氣層的化學特性，其所引起全球氣候變遷之影響，已普遍受到全球的關注。1991年，美國Bruck and Shafer即已指出，氣候變遷對作物方面病害之影響及環境變遷中病害管理研究，有助於對未來病害防治等策略及決策之形成。然而，本省植物病理界在這方面之研究，尚有待積極規劃進行。本文藉此重點綜述有關學者之報告以供參考。

貳、病原的發生、繁衍與流行

環境包含所有影響病害發展的生物性(biotic)及非生物性(abiotic)之生物圈因子(biospheric factors)。其錯綜複雜的關係可由圖1來表示。Coakley以擴張的病害三角(expanded disease triangle)來闡釋大氣化學組成的變遷，如何直接及間接地影響寄主(host)、病原(pathogen)交感作用，以及描述生態系回饋現象(ecosystem feedbacks)。氣候變化因素對植物具有直接的生物學效應，這些效應直接或間接地影響植物病害的發生率(incidence)或發病率(severity)(Manning and Tiedemann, 1995)。病勢發展(disease development)是增、是減或不變，有賴於污染物/寄主/病原之交感作用；生物圈的變遷(biospheric change)對病蟲害發生之重要性，部分係因變遷之速度(speed)及性質(nature)而定。

在全球氣候變遷中的生物圈因子(biospheric factors)包括酸雨(acid rain)、二氧化碳(carbon dioxide)、臭氧(ozone)及紫外線-B(UV-B)。關於這些因子對寄主與病原交感作用之機制未經深入探究。個別因素對病原或寄主之效應，則已見諸報告。

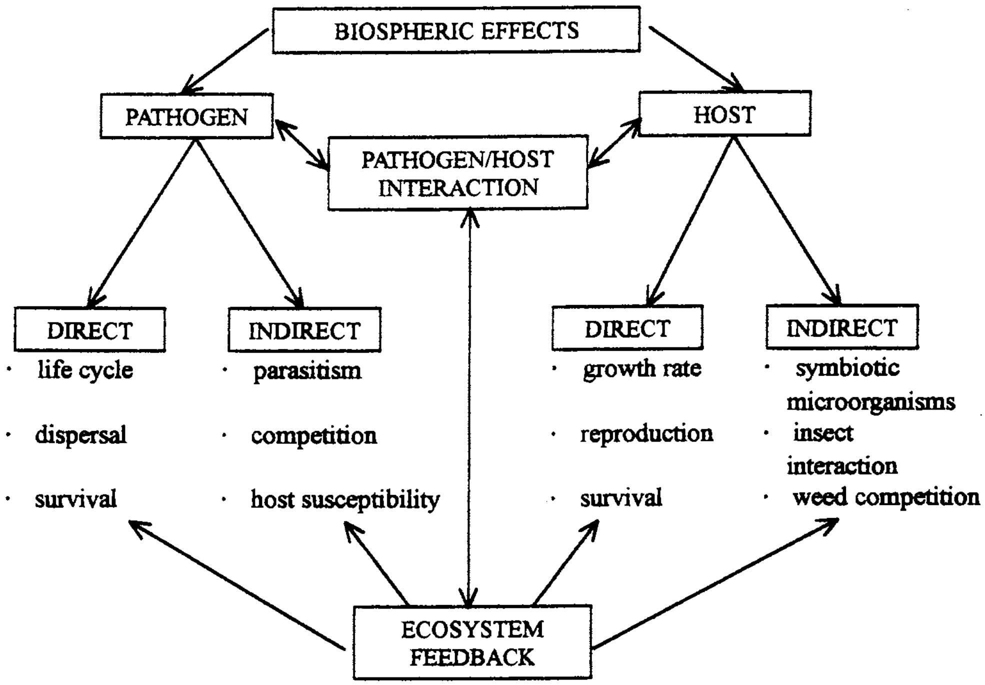


Fig.1. An expanded disease triangle showing the direct and indirect effects of biospheric factors on the pathogen, host, and host/pathogen interactions, including feedback from these interactions.(Coakley, 1995)

一、紫外線之效應

空氣傳染性病害病原菌胞子之產生、釋放、傳播、著落、發芽、附著器之形成，到侵入寄主之過程，除受寄主本身之影響外，侵入前之行動亦受氣候因素之影響(謝及梁, 1978)。在氣候變遷的因子中，紫外線對病原的影響研究甚多。紫外線對稻熱病分生胞子之活力(viability)、產胞(sporulation)、變異(mutation)之效應，探究紫外線-B(UV-B)放射處理稻熱病菌 *Magnaporthe grisea* 之生物學反應，顯示胞子及產胞(sporulation)受每日紫外線水平之負面影響。照射4小時，胞子致死率各分離株(isolate)在15~95 %範圍。在非致死輻射(non-lethal irradiation)下，也可增強色素基因(pigment gene)之突變，表示UV-B突變效應對病菌族群具最大的衝擊(Finckh *et al.*, 1995; Kato *et al.*, 1993, 1994; Kodama *et al.*, 1992; Leung *et al.*, 1995; Olszyk *et al.*, 1996)。

許多實驗證明，紫外線可抑制胞子發芽，如橡膠枯萎病菌 *Microcyclus ulei*，在UV照射60分鐘下可抑制其胞子發芽(LebaiJuri *et al.*, 1997)；茶餅病的病勢則會因UV-B照射影響而降低感染率，且對胞子的存活和發芽有抑制的作用，但對產胞作用與發芽管生長卻無影響(Gunasekera *et al.*, 1997)；葡萄白粉病菌之胞子發芽及菌絲生長會受UV-B抑制(Willocquet *et al.*, 1996)。另有實驗證明近UV光照射下可抑制灰黴病菌產胞(Nicot *et al.*, 1996)。紫外線除影響病原本身外，也會造成植株對病原產生不同的感受性，如水稻葉照射UV可得到植物抑菌素(phytoalexin) oryzalexin E及F、sakuranetin，此物質分別在62.5、103 ppm即可抑制稻熱病菌的胞子發芽(Kato *et al.*, 1993, 1994; Kodama et al., 1992)；柑桔類果樹受到 *Penicillium digitatum* 侵入和熱聯合處理及UV之照射，皆能產生植物抑菌素(phytoalexin)，而UV會降低檸檬樹對病原的感受性(Ben-Yehoshua *et al.*, 1992)；增加紫外線-B使寄主植物之黃酮類化合物(flavonoids)增加，因而提高病害抵抗性(Logemann *et al.*, 1995; Manning *et al.*, 1995)；在UV-B照射下，柑桔能產生非 喃香豆素(nonfuranocoumarin)以防禦病原侵害(Asthana and Tuveson, Asthana *et al.*, 1992, 1993)；UV-C對葡萄抗露菌病之過氧化酵素(peroxidase)含量研究，發現抗病品種有極小的改變(Zapata *et al.*, 1994)；以UV處理葡萄能產生對 *Penicillium digitatum* 的抗性，在處理24-48小時後，可獲得最大抗性，並且發現病菌的產胞會受到抑制，以及葡萄果皮中苯丙氨酸氨基分解酵素(phenylalanine ammonia-lyase)及過氧化酵素(peroxidase)活性增加(Droby *et al.*, 1993)。因此，紫外線對病害的影響，會受到植株品種、株齡、紫外線照射時間、照射量及病原接種量而異(Orth *et al.*, 1990)。

紫外線照射對病原產生變異的效應而言，顯示其能提高病原 *Cryphonectria parasitica* 的異核現象(heterokaryon)及擬有性生殖(parasexuality) (Rizwana and Powell, 1995)，或以UV增加放射菌突變株，可提高對病原 *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* 及 *Pseudomonas syringae* 的抗生能力，能有效抑制胞子發芽、發芽管生長、菌絲生長、產胞作用及細菌菌落數目(El-Abyad *et al.*, 1993, 1996)。

此外，利用可吸收UV光之塑膠布或乙烯基布覆蓋栽培作物時，可降低媒介昆蟲傳播病毒比率(Antignus *et al.*, 1996)，或有效抑制在溫室中的菠菜猝倒病達1/3，尤其在夏季高溫時效果明顯，其中 *Fusarium* spp. 較 *Pythium* spp.及 *Rhizoctonia* spp.所受之抑制顯著(Naito and Honda, 1994)。白葉枯病菌的蛋白磷酸化作用，因UV之照射而受抑制(Huang *et al.*, 1995)；柑桔根腐病菌(Fusarium spp.)及果腐病菌(*Penicillium* spp.)能分別產生類胡蘿蔔素(carotenoids)及藍綠色素而防禦UV-A的傷害。除病原菌外，UV-B對植物葉表菌類及根圈微生物的研究，

顯示植物葉表菌類的分佈及存在量會產生改變，二種葉部酵母菌在UV-B提高下，其量降低，且存於葉表者受影響，較葉背者明顯(Newsham *et al.*, 1997)；而Klironomos等(1995)利用糖槭(sugar maple)研究UV-B會對根圈菌根菌、非菌根菌、細菌及以微生物為食之節肢動物產生影響。

二、臭氧之效應

臭氧(O_3)為溫室效應氣體之一種，一般視為空氣污染物質。臭氧不僅對植物發生直接的負面影響，對於病原和植物之間亦有間接作用，亦即可能提高或降低病原毒力及改變植物體的防禦能力(Violini, 1995)。壞疽性(necrotrophic)病原在臭氧減弱植物抗性下，可加速纏據植株的能力，而絕對寄生性(obligate biotroph)病原反而降低感染機率(Manning *et al.*, 1995)；植株處理O_3會引起類似過敏性反應之活性態氧、H_2O_2和水楊酸(salicylic acid)等量的增加而引發防禦反應，同樣植株亦可得到對*Pseudomonas syringae* pv. *maculicola*　的抵抗性(Sharma *et al.*, 1996)。有些試驗室及田間試驗所得結果不一致，例如臭氧會增加黃落葉松之根黑染病(black stain)，但松樹根腐病(annosus root rot)之發生則與臭氧無關。三角葉楊樹葉銹病菌(cottonwood leaf rust)在臭氧燻蒸的植株上會增加繁殖；楊樹葉斑病菌*Marssonina brunnea*則不受臭氧之影響。其他如菜豆及洋蔥曝露於臭氧下會增加*Botrytis cinerea*引起之灰黴病；但對洋蔥小菌核頸腐病菌*Botrytis squamosa*無影響(Coakley, 1995)。

三、二氧化碳之效應

二氧化碳可以增加植物冠層(canopy)大小及密度，導致高營養品質生質量(biomass)增大，及微氣象之相對濕度增高。這可能促進銹病(rust)、白粉病(powdery mildew)、葉斑病(leaf spots)、疫病(blights)之發生；同時作物殘體增加使越冬之接種源潛能(inoculum potential)可能大增(Manning *et al.*, 1995)。相反的結果，發現以二氧化碳處理可提高酪梨對炭疽病的抗性，最適處理係於收穫時，立即在20-25℃處理30% CO_2 24小時(Prusky *et al.*, 1991, 1992, 1993)；或在感染virus的燕麥給予多量二氧化碳會造成根量及生物量的增加，推論二氧化碳會影響病毒感染的持續性(Malmstrom and Field, 1997)。

參、對病害發生之影響

一、氣候變遷對作物病害之影響

一般而言，研究氣候變遷對農作物病害的影響，採用統計分析及動態模擬兩種途徑。馬鈴薯病害之影響研究方面，Carter氏等(1996)模擬(simulation)氣候變化對*Phytophthora infestans*之影響；根據1961-90年之氣象資料運算現代氣象條件(climatic condition)及未來條件之情景(scenarios of future condition)然後將結果圖解預測到2050年，在芬蘭(Finland)各地區*P. infestans*發生率會增加；線蟲分佈可向北移動。

1995年Luo氏等報導，以耦合動態模擬研究(coupling of CERES-RICE and BLASTSIM)自5個亞洲國家之53個地點蒐集的日氣象資料，利用農業技術資料轉移支持系統(Agro-technology transfer data support system)中之二個天氣產生式(weather geneators, WGEN及WMAK)，估計每一個地點之日天氣資料數據，藉以模擬全球氣候變遷中溫度變化和紫外線-B對稻熱病流行之效應，並分析最高發病率、病勢進展曲線下面積(AUDPC)及收量損失。在大部分地點，溫度變遷對病勢發展產生效應，會隨不同農業生態區間而呈現變異。在日本及中國北方之冷涼亞熱帶，空氣溫度之提高導致稻熱病發生更高風險；相反的情形，在潮濕溫暖的熱帶，比正常溫度較低之溫度條件下，可使稻熱病更加嚴重。紫外線-B的增強則引起收量損失9-10%，但隨溫度變化而收量損失會有所不同，如在熱帶國家，若溫度比正常還低的情況下，增加紫

外線-B會使稻熱病發展更嚴重。

對穀類真菌性病害之影響研究方面，德國Jahn氏等(1995)報告，在前東德所作長期監測及預測系統所獲得之資料來研究氣候變遷對作物病害之效應，發現理論上增加溫度1或2 K或減少30-60%降雨，可顯著增加穀類銹病(cereal rust),然而卻減少腳腐病(foot rot)及葉枯病(leaf blotch)等病害。同時估計馬鈴薯晚疫病(late blight)亦顯著減少，對禾穀類白粉病之發生則稍微受影響。

1996年Coakley及Scherm報導，環境中數種組成分的改變，可能影響作物生產及病蟲害治理(pest management)。大氣中的成份(composition)尤其是二氧化碳(CO_2)、臭氧(ozone)及紫外線-B輻射(ultraviolet-B radiation)之改變，可影響全球變暖(global warming)及改變降雨型態(precipitation patterns)。這些結果可能導致對病原及植物產生直接間接的效應，並指出要能充分瞭解如何掌握全球氣候變遷對病原及植物病害之影響，須透過作物保護科學及相關科系之研究人員協力合作，始克有成。

Goudriaan 及 Zadoks(1995) 模式研究(modelling)氣候變遷對病蟲害之影響，認為氣候變遷逐步改變農業區時，農作物及有關之病害、雜草均將一齊遷移。並認為二氧化碳及紫外線輻射增射之效應不是很大，而增加二氧化碳會減少作物氮含量，也許會阻礙病害發生。但須審慎評估尚不能驟然下結論。

二、聖嬰現象對作物病害之影響

「聖嬰現象」(El Nino/Southern Oscillation，ENSO)中「聖嬰」源自於西班牙語El Nino，直譯為「艾尼紐」，原意為上帝之子的意思，係指東太平洋赤道附近海面海水溫度明顯升高的現象，現已延伸為太平洋赤道地區廣大海域內海溫異常高溫現象。此現象因常與大氣環流南方振盪(Southern Oscillation)的變化有連帶關係，統稱為聖嬰與南方振盪，簡稱為ENSO，直譯為「恩索」。在平常狀況下，太平洋東部海域從南美洲的厄瓜多爾到秘魯沿岸，由於受到冷洋流和湧升流影響，一般來說，這些海面溫度均比同緯度其他地區之海溫低。然而，上述狀況每隔二至七年會發生變化，異常時海面溫度會突然上升，而後維持一段時間，這種現象常在南半球聖誕節前後發生，當地人稱此現象為「聖嬰」(廖，1995)。這種氣候突變，嚴重時會使全球各地旱澇失常，為全球氣候變異最重要最具特徵的機制。區域性溫度及降雨型態會受ENSO影響，以致影響植物病害之發生，Scherm及Yang (1995) 應用交替波譜分析法(cross-spectral analysis)，探討測定ENSO之南方振盪指數(Southern Oscillation Index, SOI)與中國北方5地區*Puccinia striiformis*引起之小麥條銹病(stripe rust)、美國中西部4個氣候區*P. graminis*引起小麥桿銹病(stem rust)間之聚合率(coherence) 及相(phase)之關係(見表1)。由聚合率(coherence)關係顯示，在ENSO時間尺度特徵下，銹病及SOI數列間之共振(cooscillations)顯著而一致。5種條銹病數列與SOI數列在2.0~3.0年及8.0~10.0年為週期時，有凝聚現象。而3種桿銹病在6.8~8.2年為週期時，有凝聚現象。在相關係(phase relationship)上顯示，大部分情況下，銹病及SOI數列在相外(out of phase)呈互振動，表明其關聯性(association)為間接的。另外分析美國西北更短的(18年)條銹病數列，發現在聖嬰年(warm phase of ENSO)發病率比非聖嬰年或La Nina年(cold phase of the ENSO)顯著更低。雖然此項研究無法推論因果關係，但此分析，鑑定未來在伸展時間尺度下之方法與方向。

Table 1. Phase relationships[a] between time series of wheat rusts in China and the United States and the Southern Oscillation Index[b] (SOI)

Disease and region	Phase angle[c] (radians)		
	2.0 to 3.0-yr harmonics	6.8 to 8.2-yr harmonics	8.0 to 10.0-yr harmonics
Wheat stripe rust in China[d]			
Gangu	-0.35π	...[e]	-0.47π
Xian	0.86π	...	-0.41π
Xinyang	0.05π	...	-0.46π
Zhengzou	0.83π	...	-0.53π
Beijing	0.83π	...	-0.46π
Wheat stem rust in the U. S.[f]			
Southeast Nebraska[g]	...	...	...
East-central South Dakota[g]	...	-0.06π	...
Southeast Minnesota[g]	...	0.08π	...
Southeast North Dakota	...	-0.41π	...

[a] Phase relationships are shown only for harmonics with significant coherence relationships.

[b] The SOI is expressed as the double-normalized difference in atmospheric pressure anomalies between Tahiti (South Pacific) and Darwin (Australia). The SOI was averaged from March to June and from October to March for analysis with the stripe and stem rust series, respectively.

[c] Negative phase angle: SOI series is leading; positive phase angle: rust series is leading.

[d] Annual values of disease severity from 1950 to 1990.

[e] Coherence between the rust and SOI series not significant at $\alpha=0.10$.

[f] Annual dates for the first appearance of stem rust from 1921 to 1962.

[g] Series was differenced before cross-spectral analysis.

肆、因應策略

氣候變遷，對農作物病害發生、流行、危害將產生一定的影響。至於如何因應未來氣候變遷，根據李淑華氏(1993)之報告，包括下列5項對策。

1.大力推行農業生態防治

適應氣候變暖，合理調整作物、品種布局，充分利用自然因素的調節與控制作用，創造有利農作物生長發育、不利于有害生物滋生繁衍的生態條件是減輕病蟲危害的途徑之一。

2.選育高產優質抗病新品種

根據氣候變暖趨勢，選育高產優質抗病新品種，以適應不同關鍵生育期溫度變化的能力，並且具有更強的抗病能力，從單抗向多抗方向發展。

3.減少越冬菌源

冬季氣候變暖，有利病原越冬，應實施以減少越冬菌源為目的防治戰略對策。

4.發展化學防治

發展高效、低毒、低殘留的農藥新品種、新劑型，合理地使用化學農藥，不僅考慮防治效果，同時應注意其對人畜等的影響，防止環境污染，促進生態平衡。

5.加強對病害預測預報

病害預測預報是作好防治基楚，是實現及時、有效地控制病害、減輕損失、奪取豐收的重要前提。病害測報的準確及時與否，首先取決于大量的田間發生發展動態信息，其次是依賴氣象部門中長期天氣預報的準確性。因此，應加強對病害的監測能力和預報水平。

有關未來研究方向，1988年Coakley 指出有許多因素，包括氣候條件能夠引發病原的突發及蔓延，以致其損失超過忍受程度。在這方面而言，氣候因素可能扮演著掌控引起流行與否的機制角色。因此，今後的研究首應界定(define)調節各種主要糧食作物病原消長之氣候條件(climatic conditions)，俾助於改善氣候變異產生之效應。此外，對羅丹氏補償假說(Rotem's hypothesis of compensation)在氣候上之功用應多予研究；用以決定氣候限制因素(limiting climatic factor)，及鑑定補償因素(compensating factor)；如果病害區域化(zoning)可成形時，宜究明容許病害發生之氣候條件範圍。

在病害統計學的研究上，氣候的變異研究為值得重視的新領域，例如大氣線路分析(atmospheric trajectory analysis)可用來鑑定接種源移動之病原發生區(inoculum source region)；探討改變全球循環型態(global circulation patterns)引起氣候變遷，改變接種原型態及媒介之遷移等。

對熱帶作物病害與氣候變異之數量化關係要加強研究。因為，在熱帶各種作物的病害種類超過溫帶作物，而且注意力遠少於溫帶地區。應長期及定期監測蒐集病害資料，鑑定掌控病勢發展病原區域化的氣候變數。影響媒介與作物病害之氣候要多加研究。CO_2增加對應病原菌之效應也應多加研究。加強建構氣候情景(Climate Scenarios)以顯示區域性和季節性之條件範圍。

伍、結　語

氣候變遷既然由人類活動所產生，造成溫室效應、溫度上升、水文狀態變化、氣流活動增加及紫外線輻射等現象。這些因子對植物、病原和二者間的交感作用皆會產生直接或間接的影響，依目前的研究顯示有引發負面影響或刺激寄主感受性等效應，惟須審慎評估，並透過作物保護科學及相關科系之研究人員協力合作，才可下定論。站在農業生產而言，如何有效利用二氧化碳來提高農作物收穫量或利用臭氧或紫外線處理來增加寄主對病原的抗性。

病害流行方面，氣候變遷造成病害消長現象，因此病害監測及預報工作將有助於掌握動態信息。同時農業區的遷移，將帶動寄主、病原、雜草及媒介一同搬移，使得生態相發生變動，如何因應此種改變，有賴推行農業生態防治、選育高產優質抗病新品種等策略。整體而言，如何維持生態系的平衡，使生物相得以多樣化，農業生產能持續發展，將未來氣候變遷對農業生產的衝擊降至最低，實為當務之急。

陸、引用文獻

丁連財 廖志翔等. 1995. 現代用語百科。書泉書局出版。

李淑華. 1993. 氣候變暖對農作物病蟲害的影響。趙學范編〝氣候變化對農業影響及其對策〞p.271-283。北京大學出版社發行。

李潤海. 1982. 中國農業史話。明文書局出版。

黃益田. 1994. 台灣西北區之氣象因素對水稻白葉枯病盛行率之影響。桃園區農業改良場研究報告19:27-34。

黃益田. 1997. 氣象資料在水稻病害發生預測之應用。p.89-106. 氣象因子與病蟲害發生研討會專輯 。

劉昭民. 1992. 中國歷史上氣候之變遷。台灣商務印書館出版。

謝式坪鈺 梁文進. 1978. 稻熱病菌感染前之行為。p.199-212. 邱人璋主編水稻病蟲害：生態學與流行學。

大 正諄 大正十年。稻作豐凶二關スルスル研究。日本 東京 成美堂書店發行。

日本農業氣象學會. 1994. 平成の大凶作。日本農林統計協會發行。

Antignus, Y. N. Mor, R. B. Joseph, M. Lapidot and S. Cohen. 1996. Ultraviolet-absorbing plastic sheets protect crops from insect pests and from virus diseases vectored by insects. Environmental Entomology 25(5): 919-924.

Asthana, A., E. S. McCloud, M. R. Berenbaum and R. W. Tuveson. 1993. Phototoxicity of Citrus jambhiri to fungi under enhanced UV-B radiation: role of furanocoumarins. Journal of Chemical Ecology vol. 19(12): 2813-2830.

Asthana, A. and R. W. Tuveson. 1992. Effects of UV and phototoxins on selected fungal pathogens of citrus. International Journal of Plant Sciences vol. 153(3,I): 442-452.

Ben-Yehoshua, S., V. Rodov, J. J. Kim and S. Carmeli. 1992. Preformed and induced antifungal materials of citrus fruits in relation to the enhancement of decay resistance by heat and ultraviolet treatments. Journal of Agricultural and Food Chemistry 40(7): 1217-1221.

Bruck, R. I. and S. R. Shafer. 1991. A role for plant pathologist in global climate change research. Plant Disease/May: 437.

Cartor, T. R., M. Nurro and S. Torkko. 1996. Global climate change and agriculture in the North. Agricultural and Food Science in Finland vol. 5(3): 223-385.

Carter, T. R., R. A. Sarrikko and K. J. Niemi. 1996. Assessing the risks and uncertainties of regional crop potential under a changing climate in Finland. Agricultural and Food Science in Finland. 5(3): 329-350.

Clifford, B. C., A. Davies and G. Griffith. 1996. UK climate change models to predict crop disease and pests threats. Aspects of Applied Biology (No. 45): 269-276.

Coakley, S. M. 1995. Biospheric change: will it matter in plant pathology. Canadian Journal of Plant Pathology 17(2): 147-153.

Coakley, S. M. 1998. Variation in climate and prediction of disease in plants. Ann. Rev. Phytopathol. 26: 163-81.

Coakley, S. M., L. R. McDaniel and R. F. Line. 1988. Quantifying how climatic factors affect variation in plant disease severity: a general method using a new way to analyze meteorological data. Climatic Change 12: 157-75.

Coakley, S. M. and Scherm, H. 1996. Plant disease in a changing global environment. Aspects of Applied Biology (No. 45): 227-238.

Colhoun, J. 1973. Effects of environmental factors on plant disease. Annu. Rev. Phytopathol. 11: 343-64.

Droby, S., E. Chalutz, B. Horev, L. Cohen, V. Gaba, C. L. Wilson and M. Wisniewski. 1993. Factors affecting UV-induced resistance in grapefruit against the green mould decay caused by *Penicillium digitatum.* Plant Pathogogy 42(3): 418-424.

El-Abyad, M. S., M. A. El-Sayed, A. R. El-Shanshoury and N. H. El-Batanouny. 1993. Inhibitory effects of UV mutants of *Streptomyces corchorusii* and *Streptomyces spiroverticillatus* on bean

and banana wilt pathogens. Canadian Journal of Botany 71(8): 108 0-1086.

El-Abyad, M. S., M. A. El-Sayed, A. R. El-Shanshoury and N. H. El-Batanouny. 1996. Effect of culture conditions on the antimicrobial activities of bean and banana wilt pathogens. Microbiological Research 151(2): 201-211.

Finckh, M. R., A. Q. Chavez, Q. Dai and P. S. Teng. S. 1995. Effects of enhanced UV-B radiation on the growth of rice and its susceptibility to rice blast under glasshouse conditions. Agriculture, Ecosystems & Environment 52(2-3): 223 -233.

Gao, L. Z. and Z. Q. Lin. 1994. Global climate change and China's agriculture. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences 10(2): 1-10.

Goudriaan, J. and J. C. Zadoks. 1995. Global climate changes: modelling the potential responses of agro-ecosystems with special reference to crop protection. Environmental Pollution. 87(2): 215-224.

Gunasekera, T. S., N. D. Paul and P. G. Ayres. 1997. The effects of ultraviolet-B (UV-B: 290-320 nm) radiation on blister blight disease of tea (*Camellia sinensis*). Plant Pathology 46(2): 179-185.

Hardwick, N. V., A. C. Armstrong, S. A. Ellis, P. Gladders, D. J. Yarham and N. E. Parker. 1996. The impact of climate change on crop pests and diseases. Aspects of Applied Biology (No. 45): 261-268.

Huang, H. J., S. H. Lin, B. C. Yang, C. M. Cheng, C. C. Yang and T. T. Kuo. 1995. Rapid inhibition of protein histidine phosphorylation by UV-irradiation in *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. FEMS Microbiology Letters 134(2/3): 189-194.

Huang, Y. T. 1980. Some epidemiological studies on rice blast disease in Taiwan. Plant Prot. Bull. (Taiwan, R. O. C.) 22: 153-181.

Jahn, M., B. Freier and E. Kluge, 1995. The influence of climatic variations on the phytosanitary situation in the field of agriculture. Forsten. Reihe A, Angewandte Wissenschaft (No. 442): 81-92.

Jahn, M., E. Kluge and S. Enzian. 1996. Influence of climate diversity on fungal diseases on field crops-evaluation of long-term monitoring data. Aspects of Applied Biology (No. 45): 247-252.

Jeger, M. J. 1987. Meteorology and plant disease. In Int. Conf. on Agrometeorology, ed. F. Prodi, F. Rostsi, G. Cristoferi. pp. 255-76. Cescna, Italy: Fondazione Cesena Agric Public.

Kato, H., O. Kodama and T. Akatsuka. 1993. Oryzalexin E, a diterpene phytoalexin from UV-irradiated rice leaves. Phytochemistry 33(1): 79-81.

Kato, H., O. Kodama T. Akatsuka. 1994. Oryzalexin F, a diterpene phytoalexin from UV-irradiated rice leaves. Phytochemistry 36(2): 299-301.

Klironomos, J. N. and M. F. Allen. 1995. UV -B-mediated changes on below-ground communities associated with the roots of Acer saccharum. Functional Ecology 9(6): 923-930.

Kodama, O., J. Miyakawa, T. Akatsuka and S. Kiyosawa. 1992. Sakuranetin, a flavanone phytoalexin from ultraviolet-irradiated rice leaves. Phytochemistry 31(11): 3807-3809.

LebaiJuri, M., I. Bahari, R. Lieberei and M. Omar. 1997. The effects of X-ray, UV, temperature and sterilants on the survival of fungal conidia, *Microcyclus*

ulei, a blight of Hevea rubber. Tropical Science 37(2): 92-98.

Leung, H., D. Christian, P. Loomis and N. Bandian. 1995. Effects of ultraviolet-B irradiation on spore viability, sporulation, and mutation of the rice-blast fungus. In Climate Change and Rice. S. Peng, ed. p.158-168. Berlin: Springer-Verlag.

Li, S. 1992. The trend prospect and the impact of the effects of climatic change on plant diseases and insect pests occurrence and prevalence in China. Agricultural Meteorogy 13(2): 46-49.

Logemann, E., C. Wu, J. Schroder, E. Schmelzer, I. E. Somssich and K. Hahlbrock. 1995. Gene activation by UV light, fungal elicitor or fungal infection in *Petroselinum crispum* is correlated with repression of cell cycle-related genes. Plant Journal 8(6): 865-876.

Luo, Y., D. Q. Tebeest, P. S. Teng and N. G. Fabellar. 1995. Simulation studies on risk analysis of rice leaf blast epidemics associated with global climate change in several Asian countries. Journal of Biogeography 22(4/5): 673-678.

Malmstrom, C. M. and C. B. Field. 1997. Virus -induced differences in the response of oat plants to elevated carbon dioxide. Plant, Cell and Environment 20(2): 178-188.

Manning, W. J. and A. V. Tiedemann. 1995. Climate change: potential effects of increased atmospheric carbon dioxide (CO_2), ozone (O_3), and ultraviolet-B radiation on plant diseases. Environmental Pollution 88(2): 219-245.

Naito, Y. and Y. Honda. 1994. Control of damping-off of spinach with ultraviolet -absorbing vinyl film. Bulletin of the Faculty of Agriculture, Shimane University (No. 28): 37-43.

Nicot, P. C., M. Mermier, B. E. Vaissiere and J. Lagier. 1996. Differential spore production by *Botrytis cinerea* on agar medium and plant tissue under near-ultraviolet light-absorbing polyethylene film. Plant Disease 80(5): 555-558.

Newsham, K. K., M. N. R. Low, A. R. McLeod, P. D. Greenslade and B. A. Emmett. 1997. Ultraviolet-B radiation influences the abundance and distribution of phylloplane fungi on pedunculate oak (Quercus robur). New Phytologist 136 (2): 287-297.

Olszyk, D., O. Dai, P. Teng, H. Leung, Y. Luo and S. B. Peng. 1996. UV-B effects on crops: response of the irrigated rice ecosystem. Journal of Plant Physiology 148(1/2): 26-34.

Orth, A. B., A. H. Teramura and H. D. Sisler. 1990. Effects of ultraviolet-B radiation on fungal disease development in *Cucumis sativus.* American Journal of Botany 77(9): 1188-1192.

Prusky, D., I. Kobiler, R. Ardi and Y. Fishman. 1993. Induction of resistance of avocado fruit to *Colletotrichum gloeosporioides* attack by CO_2 treatment. Acta Horticulturae (No. 343): 325-330.

Prusky, D., R. A. Plumbley and I. Kobiler. 1991. Modulation of natural resistance of avocado fruits to *Colletotrichum gloeosporioides* by CO_2 treatment. Physiological and Molecular Plant Pathology vol. 39(5): 325-334.

Prusky, D., R. A. Plumbley, I. Kobiler, G. Zauberman and Y. Fuchs. 1993. The effect of elevated CO_2 levels on the symptom expression of *Colletotrichum*

gloeosporioides on avocado fruits. Plant Pathology 42(6): 900-904.

Rizwana, R. and W. A. Powell. 1995. Ultraviolet light-induced heterokaryon formation and parasexuality in *Cryphonectria parasitica*. Experimental Mycology 19 (1): 48-60.

Rotem, J. 1978. Climatic and weather influences on epidemics. *In*: Plant Disease: Advanced Treatise, ed. J. G. Horsfall, E. B. Cowling. 2: 317-37. New York: Academic.

Sawada, K. 1935. The forecasting of the epidemic of the rice blast disease in the following year and the suitable management. Formosan Agr. Rev. 31: 1058-1068.

Scherm, H. and X. B. Yang. 1995. Interannual variations in wheat rust development in China and the United States in relation to the El Nino/Southern Oscillation. Phytopathology 85(9): 970-976.

Schrodter, H. 1975. Weather and plant disease. In Progress in Biometeorology. The Effect of Weather and Climate on Plants. ed. L. P. Smith. 1: 279-86.

Sharma, Y. K., J. Leon, I. Raskin and K. Davis. 1996. Ozone-induced responses in Arabidopsis thaliana: the role of salicylic acid in the accumulation of defense -related transcripts and induced resistance. Proceedings of the National Academy of Sciences o f the United States of America 93(10): 5099-5104.

Violini, G. 1995. Ozone and plant pathogens: an overview. Rivista di Patologia Vegetale 5(3): 113-130.

Willocquet, L., D. Colombet, M. Rougier, J. Fargues and M. Clerjeau. 1996. Effects of radiation, especially ultraviolet B, on conidial germination and mycelial growth of grape powdery mildew. European Journal of Plant Pathology 102(5): 441-449.

Zapata, J. M., A. A. Calderon, M. A. Pedreno, R. Munoz and A. Ros Barcelo. 1994. Effect of UV-C on peroxidase isoenzymes in axillary bud cultures of Vitis species differing in fungal resistance to *Plasmopara viticola*. Biologia Plantarum 36(1): 133-138 .

The Impact of Global Climate Change on Plant Diseases and Corresponding Strategies

Yih-tyang Huang and Shu-fen Shiau
Taoyuan District Agricultural Improvement Station
Taiwan Provincial Department of Agriculture and Forestry

ABSTRACT

This paper reviews the literatures associated with the effects of individual climate change factors, carbon dioxide(CO_2), ozone(O_3) and solar ultraviolet-B(UV-B) on the plant pathogens, and simulation studies on the effect of global climate change on plant disease epidemics. The climate change factors, CO_2, O_3 and UV-B, have direct biological effects on plants. Such effects may directly or indirectly affect the incidence and severity of plant diseases, caused by biotic agents. Ultraviolet-B radiation may affect spore viability and sporulation of plant pathogens. It enhances the mutant effects and alteration of physiological response of host plants, and results in alterations of disease susceptibility of host plants. Little is known about the actual impact of climate change factors on disease epidemics. Some simulation studies indicated that effects of climate change on disease development, such as rice blast epidemics, varied between different agroecological zones. The coherence relationships was observed between the rust and Southern Oscillation Index series. The reviews also focus on the need for further research on the impact of climate change on plant diseases and their management.

Key words: Global climate change, Plant diseases, Corresponding strategies.

氣候變遷對農作物生產之影響
第5章　全球氣候變遷對台灣地區蟲害發生影響
及因應對策 73-85, 1998

第五章　全球氣候變遷對台灣地區蟲害發生影響及因應對策

鄭　清　煥
台灣省農業試驗所嘉義分所植保系

摘要……74
壹、前言……74
貳、溫度與雨量之變遷可能對作物害蟲之發育與族群之影響……75
參、溫度與雨量之變遷可能對農作物害蟲為害之影響……77
肆、因應措施……78
伍、結語……80
陸、誌謝……81
柒、參考文獻……81
英文摘要……85

第五章 全球氣候變遷對台灣地區蟲害發生影響及因應對策

鄭 清 煥
台灣省農業試驗所嘉義分所植保系

摘 要

影響害蟲族群與為害之環境因子可分為非生物因子與生物因子兩大項，兩者間之相互作用相當複雜，其中任何一因素的改變將可直接或間接地影響到一種害蟲在區域間的族群密度。全球氣候變遷導致地球表面溫暖化可直接影響害蟲之分佈、存活與族群之成長速率，同樣亦可導致作物之發育及其耕種及管理制度之演變，而影響害蟲族群之發生豐度及其為害。在全球氣候變遷下，可使台灣氣候型態更接近熱帶地區，害蟲及其天敵種類之歧異度將更形增加。冬季增加溫度減少降雨量將更有利於害蟲之越冬，增加冬作及春作害蟲之族群密度及為害損失；夏季溫度及降雨量之增高則更不利於害蟲之繁殖，可抑制其為害。由於害蟲之發生豐度受寄主作物之品種、栽培制度及管理方式等之演變影響至大，該等演變導致蟲害之損失，可能較全球氣候變遷之直接影響為大。一般而言，溫度增加，將可增加昆蟲種類的歧異度及發生世代的重疊，較難使用藥劑適時防治，宜發展以增加害蟲環境阻力，如栽植抗蟲品種、增強田間管理，生物與物理防治等非農藥防治方法為主體之綜合管理策略，抑制害蟲族群於經濟危害基準之下，則藥劑使用頻度將可大幅減少，使作物環境更有利於自然潛在天敵族群的增長而發揮其抑制各種害蟲功效。此一防蟲策略將可有效地因應地球表面暖化及社會之需求。

關鍵詞：全球氣候變遷，對作物蟲害之衝擊，害蟲管理策略。

壹、前 言

過去十餘年來，有關溫室效應氣體之增加可能對全球氣候之影響有很大的爭辯，但從科學証據顯示，由於農、工業的快速發展以及人為活動頻繁所產生之溫室效應氣體，如二氧化碳 (CO_2)、氧化亞氮 (N_2O)、甲烷 (CH_4)、氟氯碳化物 (CFCs)⋯⋯⋯等之大量增加，確可導致地球表面溫度之增加。如情況不設法改善，按GCMs (General Circulation Models) 估算在下世紀結束前，若二氧化碳在大氣中之濃度較目前倍增下，將可導致地球表面平均溫度增加1.5至4.5℃，最可能在2.5℃左右；全球平均降雨量可能增加3-15%，增溫越大，降雨量增加越多。而紫外線 (尤其是紫外線B (315-280nm)) 因臭氧層之被破壞，其輻射強度將增強(IPCC, 1990)。地球表面暖化現象

在高緯度地區將比低緯度地區明顯，冬季較夏季明顯，對季節變化影響幅度可能不大。而其所引起地區性溫度的變化可能加劇 (Schneider, 1993)，且地表溫度變化對氣候之變動，如降雨頻度、降雨量與溫度之劇烈變動，相信會有很大影響。按 Bachelet *et al.* (1995)預測，在台灣地區年平均溫度可能增加之範圍為2.6-3.5℃，而雨量則可能變動不大。但按環保署(1994)利用GCM_5模式預估2050年時台灣地區冬季氣溫約有3.5-4℃，夏季3-3.5℃的上升趨勢；而降雨量在冬季約可減少5-10%，夏季增加5-10%。梁等(1997)使用Simmeteo的蒸發散量動力模式模擬二氧化碳倍增時，預估台灣溫度約可上升1.9-4.9 ℃。而柳等(1984)則預估溫度將上升 3-4 ℃，而冬雨與梅雨將減少。總之，在溫室效應氣體不斷增加的情況下，對臺灣地區未來氣候之變遷的預估雖略有出入，但顯然地均表示全年溫度與夏季雨量將可逐漸增加，而冬季雨量逐漸減少之趨勢。

昆蟲是變溫動物的一種，亦即其體溫隨著外界溫度之高低而產生不同的反應，而表現在昆蟲的新陳代謝強度，生長速率等方面，進而影響其體型大小，發生數量、行為變異、全年活動期以及地理上的分佈區域等。當氣候發生變遷時，各種昆蟲之分佈、發育及繁殖等亦將隨之產生變動；而其寄主植物因受氣候之變遷所產生之栽培制度或管理方式的改變，更將衝擊作物生態系而影響害蟲族群的季節性動態及其豐度。由於氣候變遷對生態系所引起之反應相當複雜，因此很難準確地據一、兩個氣象因子預估地表面暖化後對害蟲可能發生之影響；另一方面，由於昆蟲種類繁多，各種昆蟲對各種環境之適應性寬狹不一，地球表面暖化及其所引起之氣候變遷，可能對某些害蟲有負面作用，但對某些害蟲則無影響或反具正面作用，而促使主要害蟲種類之更替；再者害蟲亦可經由生理及行為的演化而適應於變遷後的氣候環境。因此對於全球氣候變遷可能對臺灣地區蟲害發生之影響，目前尚難予定論。本文謹就地球表面暖化可能促使臺灣地區溫度上升及降雨型態之演變，對作物害蟲可能產生之影響及因應對策提出概略之推測。

貳、溫度與雨量之變遷可能對作物害蟲之發育與族群之影響

昆蟲之發育、繁殖與溫度之高低具密切關係，每一種昆蟲之發育臨界低溫、發育臨界高溫及發育適溫範圍不盡相同。如為害水稻之褐飛蝨(*Nilaparvata lugens*)之發育臨界低溫在12℃左右，發育臨界高溫約為33℃，而發育最適之溫度範圍在20-30℃(陳, 1978; Suenaga, 1963)；番茄斑潛蠅(*Liriomyza bryoniae*)，螺旋粉蝨(*Aleurodicus dispersus*)及銀葉粉蝨(*Bemisia argentifolii*)之發育臨界低溫分別為7-8,8及13-15℃，發育適溫分別為20-28，22-25及20-28℃，而發育臨界高溫分別約為32,30及30℃(鄭, 1994；溫等, 1994；林等, 1997)。而屬於溫帶產之桃蚜(*Myzus persicae*)之發育臨界低溫在1.4至3.2℃間，發育最適溫在22-27℃，發育臨界高溫約在30℃ (郭1991)。由上述例子可見一般農作物害蟲之發育適溫大都介於20至30℃，在適溫範圍內其發育速率隨溫度之增高而上升。溫度超過30℃以上不利於其發育、繁殖，溫度超過33-35℃則絕大部份無法生存。此項結論一般都在恆溫中飼育所獲。

害蟲在田間事實上都處於變溫中生存，短暫的高溫對其影響不若恒溫箱中飼育之明顯。但如溫度超過發育臨界高溫對其發育與存活仍有很大影響，如於溫室內(溫度19-38℃，平均28.9℃，濕度30-100%RH，平均79.5%RH)及室外(溫度19-33℃，平均27.3，濕度36-100%RH，平均77.0%RH)飼育褐飛蝨，則於溫室內之卵及若蟲之存活率分別為83.3及30%，而室外分別為93.9及74%；雌、雄成蟲壽命在溫室內，分別為10及5天，在室外分別為12.8及17.8天(Bae and

Pathak, 1970)，可見短時間之高溫對害蟲之生存及繁殖亦有很大影響。同樣現象亦發現於設施內之番茄斑潛蠅及銀葉粉蝨，冬作時溫度較接近發育適溫範圍，發生為嚴重，而春作或夏作則因高溫，發生為害較為輕微（鄭, 1994；林等, 1997）。

臺灣農作物栽培區（平原地帶）在元月及2月之平均氣溫由14至18℃，(最低溫12-14℃)，而七、八月平均氣溫約26-28℃(最高平均氣溫約32℃)(郭1978)。若按預測在下一世紀結束前地球表面溫度增加以2.5℃計算，元月及2月之平均溫度將增至 16.5至20.5℃ (最低平均氣溫增至14.5至16.5℃)，較目前溫度適於害蟲越冬；夏季七、八月平均氣溫將增至28.5至30.5℃（最高平均氣溫增至34.5℃)，則較目前更不利於害蟲之增殖。由於冬季氣溫更適於害蟲越冬，春作蟲害之發生可能較目前嚴重，而夏季由於溫度太高，夏作大部分害蟲之發生可能受到抑制。然而害蟲對高溫之影響亦可能藉生理或習性上適應而降低其傷害(Hoffman and Blows, 1993)。已有實驗証明昆蟲對高溫容忍之遺傳變異頗大(Huey *et al.,* 1991; White *et al.,* 1970; Quintana and Prevosti, 1990)。實際上，在自然情況下，各地區發生之害蟲之族群對高溫之容忍性亦不盡相同，如在泰國Khon Kaen採到之褐飛蝨的一齡蟲對40°C高溫之致死中率(LT_{50})為57.2小時,三齡蟲為144.6小時，均較菲律賓國際稻米研究所採得者之23.4及22.8小時為高(Domingo and Heong, 1992)。同樣現象亦發現於兩地捕食褐飛蝨之盲椿象(*Cyrtorhinus lividipennis*)，對於40℃之容忍程度：採自Khon Kaen者約30倍高於國際稻米研究所採到者(Peters, 1991)。此種現象顯示昆蟲對於高溫自然汰選，可逐漸演化而適於高溫環境，但是否所有害蟲種類均有類似現象，則尚不清楚。

昆蟲對高溫之影響亦可藉改變棲所或活動時間以避開不適環境，進入休眠(夏眠)或遷移亦為其適應不良環境策略之一。高溫而引起休眠現象之研究尚少，但藉遷移而避開不良環境已有許多例証，如褐飛蝨、白背飛蝨(*Sogatella furcifera*)及瘤野螟(*Cnaphalocrocis medinalis*)均為熱帶地區害蟲，於春末夏初，可隨濕暖之西南氣流往亞熱帶及溫帶地區遷移，待溫帶地區氣溫轉涼，水稻成熟時又逐次往南回遷(Kisimoto, 1976；Zhang, 1991)。類似此類害蟲，地球表面暖化將不致影響其族群。然而位於亞熱帶與熱帶邊緣地區的臺灣，在地球表面暖化，臺灣將逐漸由原來該等害蟲之不穩定越冬區，變為終年繁殖區；該等害蟲之為害將由目前只在二期作嚴重為害的情況，而變更為如紅河三角洲（冬季平均溫度16.5-19℃）之水稻(Xuyen, 1997; Sogawa and Nhat, 1997)，於一、二期作均可能遭受嚴重為害。

地球表面暖化，將可增加害蟲之生長速率以及一年中之繁殖世代數，若以如預測平均增加2.5℃計算，則一年可增加害蟲有效積溫達912.5日度，假若不受食物限制，則可使為害水稻之二化螟(*Chilo suppressalis*)(發育臨界低溫為11-12℃，有效積溫為605-810日度)(鄭, 1995; Kiritani and Iwao, 1964)，三化螟(*Scirpophaga incertulas*)(發育臨界低溫12-16℃，有效積溫618-700日度)(Kiritani and Iwao, 1964)每年至少可增加一個世代，但可使斑飛蝨(*Laodelphax striatellus*)(發育臨界低溫10.4℃，有效積溫374.2日度)及黑尾葉蟬(*Nephotettix cincticeps*)(發育低溫臨界13.6℃，有效積溫297.4日度)(Kisimoto and Dyck, 1976)等增加2-3個世代。然而增加繁殖世代並不一定表示可增加其發生之族群密度及其危害程度。

地球溫暖化，將促使臺灣地區之溫度提高，夏季溫度過高可能使若干原來在地理分佈上以臺灣為南界之溫帶地區害蟲，如斑飛蝨，負泥蟲(*Oulema oryzae*)等可能自臺灣消失或變為次要害蟲，但以台灣為北界之害蟲，如臺灣黑尾葉蟬(*Nephotettix virescens*)、台灣夜盜(*Spodoptera maurita*)

等發生量則可能增加。而其他目前發生於臺灣臨近的熱帶地區之害蟲，則有可能入侵臺灣。總之，在臺灣地區，若冬季增溫則有利於本土性害蟲之越冬蟲量及不耐低溫之熱帶地區害蟲之入侵立足，對春作可能形成較嚴重之危害；而夏季增溫，將迫使不耐高溫害蟲（溫帶地區害蟲）之發生族群受限或往高海拔地區分佈，而在平原地區發生為害程度更形下降，但對於耐高溫之熱帶地區害蟲之發生與為害影響可能並不顯著；至於秋冬作作物，暖化將更有利於害蟲之繁殖與為害。

降雨量對害蟲族群之影響與溫度之對於害蟲之作用一樣是多方面的而且相當複雜，且降雨持續期間，降雨頻度、強度及降雨量對害蟲族群亦有截然不同的作用機制。大部分作物害蟲生育最適當濕度範圍介於相對濕度70至95%，適當的降雨可提高濕度，有利於害蟲的正常發育及繁殖；綿綿細雨，有利昆蟲寄生菌的繁殖，易引起某些害蟲流行病的發生；傾盆驟雨則對大部害蟲具傷害作用，尤其是對小型害蟲如蚜蟲、粉蝨、薊馬及葉蟎等具沖涮作用，於暴雨後，其族群密度常呈顯著下降（張, 1997；郭,1997；何,1997）。而降水量則可直接影響土壤之含水量及濕度，含水量過於飽和對部分發育期需在土表度過的害蟲，如甘藷蟻象(*Cylas formicarius*)及若干夜蛾科昆蟲的族群增長將具抑制作用(Sugimoto, 1990; 陳及張, 1989, 1990)。因此以目前預測未來在臺灣地區降雨量於夏季可能增加而冬季減少之趨勢來推測對害蟲之發生影響，可能會因降雨的型式不同，很難據以推測對那一類害蟲有利或有害，如若預測氣候變遷將導致夏季不正常的高溫驟雨之增加將對大部農業害蟲產生不利作用，而冬季增溫乾燥，則將更有利於小型害蟲的發生。

害蟲族群之發生豐度除受本身之繁潛能及天然因素，如溫度、濕度、雨量之影響外，生物因子，如寄主植物的適合性，栽培與管理方式及種植面積，天敵之豐度以及害蟲種間之競爭等亦為重要的支配因素。地球表面暖化，除溫度、雨量之變動直接影響害蟲之繁衍外，因其變動而連帶地亦可能影響生物因子及因子間相互作用的變動，而影響害蟲族群之動態及其豐度。目前對於氣候變遷可能影響害蟲發生之諸多因子尚不明確，僅憑可能變動之溫度與雨量因素來推測其對作物害蟲之影響，可能太過於粗糙甚或謬誤，較可靠之推測需經長期觀察搜集數據証明，才可獲得較明確的答案。

參、溫度與雨量之變遷可能對農作物害蟲為害之影響

作物對害蟲為害的反應相當複雜，害蟲的種類、為害方式，時期，和作物的種類、品種、管理情形，發育狀況以及氣候條件均將影響害蟲的為害損失。由於氣候變遷主要係因大氣中二氧化碳濃度增加所導致，對大部C_3型作物如水稻、小米、豆類，根類作物，茶及大部份木本植物而言，在高二氧化碳濃度下，有利於光合成效率，使作物體內醣之沈積量增加而增產，但蛋白質含量及微量元素含量比例並未相對增加（Imai, 1995）。由於蛋白質為昆蟲發育之重要物質，N/C比值較低之作物，理論上可能引起害蟲取食量增加，而加重對作物的危害（朱及郭，1992）。然而在實際上，作物體內之氮含量可藉管理方法給予提升。

溫度對昆蟲之攝食量之影響，一般而言較為具體。昆蟲在適溫度範圍內，由於其代謝量隨溫度之上升而加大，取食量亦隨之增加。Wieseborn and Morse (1986) 以^{14}C標示的Carboxylinulin測定各種溫度下柑桔薊馬(*Scirtothrips citri*)幼蟲與成蟲的取食率，結果發現29-30℃時幼蟲的取食率(nl/insect/8h)最高，而成蟲在20-36℃的測定溫度範圍內，溫度愈高，取食率隨之增高；同樣現象亦發現於褐飛蝨，Mochida(1972)報告5齡若蟲之取食量約為長翅雄成蟲的

6倍或雌成蟲的2.5倍，在溫度15-30℃測定溫度範圍內，取食量隨溫度之增加而增高(鄭未發表報告)。為害水稻之瘤野螟，幼蟲取食量亦隨溫度之增加而加大(鄭, 1984)，但對為害十字花科之小菜蛾(*Plutella xylostella*)則反之，該種幼蟲之取食量或平均日取食量在10-30℃之試驗範圍內均隨溫度之上升而下降(Chen and Su, 1978)，唯若考慮其族群成長速率，20-30℃之為害量仍大於20℃以下。因此地球溫暖化對一般害蟲而言，在理論上有助於其繁殖速率而加重對作物的危害程度。

在全球氣候變遷下，臺灣冬季氣溫可能提高而近似熱帶地區，理論上可能增加害蟲的為害損失，但實際上並非完全如此。以水稻害蟲為例，感蟲稻種於無藥劑處理情況下，稻穀損失率在日本、菲律賓及印尼分別為50.4, 42-54, 48.3-58% (Mochida *et al.*, 1983)；此外在台灣於1973至1975年於北、中、南部12地點試驗顯示農藥防治區水稻產量與防治區比較，在一期作平均損失約15% (878.2kg/ha)，二期作約為30%(1427.8kg/ha) (鄭, 1979)；在菲律賓各地區100試驗田試驗結果顯示害蟲防治區之稻穀產量較無防治區增加20-25%或1000kg/ha左右 (Pathak and Dkaliwal, 1986)。可見在溫帶、亞熱帶及熱帶地區雖然害蟲種類不完全相同，栽培稻種有異，耕作制度亦不盡相同，但損失量卻無明顯差異。因此在氣候變遷下，臺灣地區害蟲種類可能增多或有演變，但由其導致之損失可能並不會如預期的有很大變化。

害蟲的族群變化除受氣候因素影響外，亦深受作物品種、農作物耕作制度及蟲害管理方式等人為因素所影響。一般而言，在農業較發達地區，由於連續耕作，使用較多肥料以及密植等因素，而導致害蟲發生嚴重，需依賴不斷地使用藥劑防治，如為害水稻之褐飛蝨、黑尾葉蟬、瘤野螟、稻心蠅(*Hydrellia sasakii*)等均因栽植高產而感蟲稻種，施用高氮肥及施藥不當導致害蟲產生再猖獗所引起之後果（Dyck *et al.*, 1977）；為害蔬菜之小菜蛾以及為害果樹之葉蟎均為台灣大量使用農藥後始嚴重發生(羅, 1978；貢, 1984)；而這些害蟲無論在溫帶、亞熱帶及熱帶地區均為重要害蟲，如防治不當均可造成類似的損失。相反地，在農業發展較差的地區，由於資材欠缺，作物管理粗放，對農產品之品質要求較不嚴格，而少有使用化學肥料及農藥，害蟲因遭受豐富的天敵的抑制，發生較不嚴重。如在寮國及緬甸，由於輪作，栽植傳統稻種，不施或僅使用少量化學肥料及農藥，水稻遭受蟲害遠較其臨近國家越南及泰國為低(Garcia and Lwin, 1997; Schiller *et al.*, 1997)，可見人為因素對蟲害之影響可能較氣候變遷之因素為大。是故，氣候變遷是否會增加臺灣地區作物害蟲的危害損失，除不確定之氣候因子之外，尚受此一地區今後作物品種、管理方式等人為因素之演變所左右。

肆、因應措施

氣候變遷現象將漸進而非驟然，而生物對氣候的反應頗為複雜且變數頗多，需要長時間偵察、分析害蟲在各種環境因子，以及各因子間彼此相互作用下之影響，才能掌握其發生動態並策劃防治策略。瞭解害蟲之發生動態及其為害是為管制害蟲最不可或缺的基石，它是決定害蟲防治時期、防治策略之重要依據。由於氣候變動所引起之其他非生物及生物因子的變動，將導致害蟲發生生態之改變，長期偵測主要害蟲之發生生態，是為目前因應氣候變遷可能衝擊害蟲發生及研議害蟲管制之首要工作。

在害蟲防治策略方面，氣候變遷溫度增高的結果將導致臺灣地區害蟲發生世代重疊現象更趨嚴重，目前以藥劑為主之綜合防治措施將更趨困難。為緩和害蟲因發生世代之縮短導致族群之快速升高，更積

極開發抗蟲品種及生物防治之應用，並發展以該兩種防治方法為主體之綜合防治方法可能為最好的管制策略。以水稻為例，栽植感蟲品種台中在來1號、台南5號或台農67號在無藥劑防治下，因褐飛蝨為害，產量僅及保護區之67%左右（鄭，1976, 1984）。類似情況亦發現於印尼及菲律賓(Mochida *et al.*, 1983)。栽植抗蟲品種，害蟲發生密度增加緩慢，可減少施藥次數甚至完全無需使用藥劑，可使田間之害蟲天敵得到保護，發揮其抑制害蟲之功效。然而並非每一種作物對各種主要害蟲均具抗蟲種源，如水稻目前對飛蝨、葉蟬類具高度之抗蟲種源，而對螟蟲類，瘤野螟及稻心蠅等則只發現有中度之抗蟲品種，栽植該類品種並無法抑制害蟲之為害損失於經濟危害基準之下。所幸此一缺憾已逐漸可利用遺傳工程技術將蘇力菌之內毒蛋白基因或蛋白酵素抑制素基因轉殖於水稻或其他作物以對抗鱗翅類幼蟲之為害(Duan *et al.*, 1996; IRRI 1994; Fujimoto *et al.*, 1993; Benedict *et al.*, 1992; 林， 1996; 丁, 1996)。

天敵為自然界調節害蟲猖獗發生之重要因素，然而由於大部分之農作物都屬短期作物，生態環境不穩定，加之施用多量肥料，助長害蟲之繁衍，以及頻頻使用化學藥劑，毒害天敵，而導致天敵對害蟲之調節機制幾乎完全喪失。有鑑於此，近年來先進國家包括台灣在內均積極推動生物防治以減低對農藥之依賴。所謂生物防治，是以人為方式，利用生物的力量，調節或抑制害蟲的發生數量，使害蟲不致造成危害損失。常被利用之生物包括寄生性或捕食性天敵、病原微生物、線蟲及原生蟲等。在台灣近年來投下大量研究經費推展生物防治研究，並已獲得若干成果，如利用釉小蜂（*Tetrastichus brontispae*）及綠僵菌（*Metarhizium anisopliae* var. *anisopliae*）防治可可椰子紅胸葉蟲(*Brontispa longssima*)；赤眼卵蜂（*Trichogramma ostriniae*)防治亞洲玉米螟(*Ostrinia furnacalis*)；法拉斯捕植蟎（*Amblyseius fallacis*)防治桑樹上之神澤氏葉蟎(*Tetranychus kanzawai*)及草莓上之二點葉蟎（*Tetranychus urticae*）；法拉斯捕植蟎及基徵草蛉（*Mallada basalis*）防治草莓上之二點葉蟎及木瓜上之赤葉蟎(*Tetranychus cinnabarinus*)等已獲得完全或部份防治成功的例証 (Liu, 1993；羅與陳, 1995）。然而無可否認，迄至目前，尚無一種作物之害蟲可依賴生物防治獲得完全防治，在從事生物防治的同時仍需藉助其他防治方法，如耕作(含抗蟲品種之利用)及物理等防治方法配合，才能明顯地降低農藥的使用頻度，營造出更有利於天敵發揮防治害蟲的效果。在氣候變遷地球表面逐漸溫暖化後，臺灣生態環境，可能更接近熱帶地區，適於害蟲繁衍，栽植抗蟲品種及保育本土性天敵或利用生物防治由於其對害蟲持續性的作用，可能為抑制害蟲快速繁衍，最經濟、安全而有效的策略。

物理防治法係利用物質阻隔作物使之免遭受害，或以光或色彩誘殺或忌避害蟲，以減少其發生密度；或以致死之溫、濕度消滅害蟲。這是古老的害蟲防治方法之一，但在早期因受資材限制，無法大面積實施。然而隨著科技之進步，材料取得容易，加之消費者對農產品質之要求日增，以及實施農產品生產工廠化，物理防治之實用性亦隨之增高。另一方面隨著地球表面溫暖化，可能導致不正常氣候之劇烈變動，如不正常之高、低溫或降雨頻度及強度之改變 (Schneider, 1993) 而影響農作物之生產與供應，為保持生產之穩定性，對高經濟作物之實施設施栽培，更有其必要性。利用在物理防治害蟲方面,目前已被農友廣泛應用者，如利用套袋以預防瓜實蠅(*Bactrocera cucurbitae*)、果實蠅(*Bactrocera dorsalis*)之危害；網遮或不織布覆蓋以隔離害蟲危害，並可有效地降低作物遭受病毒病之感染危害 (Perring *et al.*, 1989; Natwich and Durazo, 1985)；使用黃、藍色粘板以誘殺蚜蟲、薊馬、潛蠅和粉蝨等害蟲(王及林, 1992)；在

設施栽培方向，如使用資材對昆蟲具忌避效果之銀色反光布覆畦或使用濾除紫外線塑膠布被覆，除可促進作物生長及產量，並可大幅降低蚜蟲、薊馬、潛蠅及粉蝨等媒介昆蟲以及其所傳播之病毒病害(鄭與何, 1997; Antignus *et al.*, 1996; Csizinszky *et al.*, 1995)。類似利用反光布或濾除紫外線塑膠布等被覆資材於作物設施栽培，既可穩定作物生產，並具防蟲，而對生態環境又無衝擊作用之防蟲方法應予重視，並開發利用。

化學防治不論在過去、或目前在害蟲防治上均扮演重要角色，將來亦將如是。由於其防治效果快速，適用範圍廣泛，使用簡便及價格便宜，為一般生產者樂於採用。也許因為價格太便宜，使用太簡便，加之農民無法獲得或根本無心搜集有關害蟲之族群動態以及防治適期之資訊，導致濫用農藥而引發抗藥性，害蟲再猖獗，殘毒及污染環境等諸多副作用。有鑑於此，政府遂投下大量資金大力倡導非農藥防治方法之開發，以求替代農藥之使用。但農藥卻有其無可取代之處，如在疫情盛發時，在最近將來仍無法以其他防治方法在短時內抑制害蟲之危害。在國際交流日益密切環境下，新侵入害蟲往往可在短期內造成嚴重疫情，在其他防治方法未建立前，使用農藥還是惟一可快速絕滅或抑制其蔓延的唯一手段。在平時應用時，農藥之使用必需以害蟲族群動態資料為基礎，於害蟲族群密度超越經濟危害基準時，才適時選用選擇性或短效性藥劑施用，如此即可大量減少農藥使用頻度及減少其對環境之衝擊。因此如何選擇適當的農藥，使用適當的方法於適當時期使用是為另一項亟待努力的目標。

總之，在氣候變遷地球表面溫暖化，害蟲可能更趨複雜的將來，蟲害防治仍以綜合管制方向為努力目標，而且將由目前以農藥為主體的綜合管制策略，逐漸導向利用生物因素及改變環境為主體的綜合管制策略防治害蟲，此一策略之轉變將使作物蟲害防治對生態之衝擊降至最低點，非但有助於氣候變遷下作物蟲害之防治，亦符合21世紀社會進步，消費者對高品質農產品及環境保育之需求。

伍、結　語

有關氣候變遷對農作物及害蟲可能發生衝擊之研究，到目前為止有關資料仍相當有限，且研究項目大部分於控制單因子或少數環境因子環境下所獲結果來推測其可能發生之衝擊，而忽略生物之適應與演化現象以及生物間之相互作用可能導致之結果。因此所預測的現象可能與實際結果有很大的差距。害蟲種類繁多，繁殖能力甚強又具強大遷移能力，其適應性極強，地球表面暖化，對某些種類在台灣之分佈、繁殖可能有弊，但對某些種類則有利，站在昆蟲群聚(community)觀點而言，可能會導致主要害蟲種類之更替，對整體害蟲之為害損失則可能並不會有明顯之改變。

另一方面，從以往蟲害發生的演變，除氣候因素外，農作物栽培管理的演變為導引害蟲嚴重發生與為害的另一項重要因素。氣候變遷可能導致之農作物栽培制度及管理的演變，間接地對害蟲之影響可能比氣候變遷直接對害蟲之影響為大。

在因應氣候變遷地球表面溫暖化，作物蟲害防治措施方面，以建立生物防治為主體之綜合防治體系較為理想，亦符合時代進步之需要。在溫度增高後，將使台灣地區之氣候型態更接近於熱帶地區，害蟲及天敵之歧異度較大，更適於生物防治(Kiritani, 1979)，在此情況下若主要害蟲能以抗蟲品種之栽植來抑制其族群之快速成長，則可大量減少農藥之施用次數，而有利於天敵族群之建立並發揮其抑制各種害蟲之機會。此種結合害蟲生態、生物防治及藥劑防治於一體之防治策略，並非新理論，但欲達到該理論境界，必需以作物種

類為主體，長期建立害蟲動態資料，並結合防治技術與社會經濟於一體，始能達成。此一蟲害防治策略，在台灣目前於少數作物上已具雛型(鄭，1995)，有待更進一步加以改善。

陸、誌　謝

本文承國立台灣大學植物病蟲害系朱耀沂博士及陳秋男博士兩位教授提供意見暨修飾文稿，謹誌謝忱。

柒、參考文獻

丁樑泉. 1996. Trypsin inhibitor基因轉移於花椰菜之研究。國立中興大學農業生物科技研究所碩士論文。

王清玲　林鳳琪. 1992. 黃色黏板在斑潛蠅防治上之應用。p.99-104。病蟲害非農藥防治技術研討會專刊，中華植物保護學會。

何琦琛. 1997. 葉蟎發生與氣象的關係探討。p.141-152。氣象因子與作物病蟲害發生研討會論文專輯（杜金池、楊純明主編），中華農業氣象學會出版。

朱耀沂　郭美華. 1992. 地球溫暖化對昆蟲的影響（中）。農藥世界111:56-62。

朱耀沂　郭美華. 1992. 地球溫暖化對昆蟲的影響(下)。農藥世界112-61-66。

林美吟. 1996. 甘藷Sporamin基因轉殖菸草內之表現及其抗蟲特性之探討。國立台灣大學植物研究所碩士論文。

林鳳琪　蘇宗宏　王清玲. 1997. 溫度對銀葉粉蝨(*Bemisia argentifolii* Bellows and Perring)發育與繁殖之影響及其在聖誕紅上之發生。中華昆蟲17:66-79。

柳中明　王維強　吳明進. 1994. 台灣地區未來氣候變遷之評估。台灣地區氣候變遷因素及影響研討會。1994年3月18-1日，台北。

貢穀紳. 1984. 台灣主要蔬菜害蟲之經濟重要性變遷及防治展望。p.3-30。蔬菜害蟲研討會專輯(蕭榮福、田春門及林尚甫編)。台灣省政府農林廳。

陳文雄　張煥英. 1989. 甜菜夜蛾之生態與藥劑防治。p.161-178。重要蔬菜害蟲綜合防治研討會專刊，中華昆蟲特刊第4號。

陳文雄　張煥英. 1990. 番茄夜蛾之生態及其防治方法之商榷。台南區農業改良場研究彙報24:21-23。

梁仁有　耿旭　劉復誠　林深林. 1997. 氣候改變對台灣地區蒸發散量影響的模擬研究。氣象學報41(4):246-271。

郭文鑠. 1978. 台灣農業氣候區域研究。中央氣象局編印，台北. 266pp。

郭美華. 1991. 不同定溫及寄主植物對桃蚜發育及繁殖之影響。中華昆蟲11:118-129。

郭美華. 1997. 氣象因子對桃蚜族群變動影響。p.129-140。氣象因子與作物病蟲害發生研討會論文專輯（杜金池、楊純明主編），中華農業氣象學會出版。

張念台. 1997. 氣候條件對薊馬生物學、生態學與防治的影響。p.107-128。氣象因子與作物病蟲害發生研討會論文專輯（杜金池、楊純明主編），中華農業氣象學會出版。

溫宏治　許洞慶　陳秋男. 1994. 溫度對螺旋粉蝨(*Aleurodicus dispersus* Russell)發育、成蟲壽命、活動及產卵之影響。中華昆蟲14:163-172。

陳秋男. 1978. 水稻褐飛蝨*Nilaparvata lugens* (Stal)之生態。p.1-22。水稻病蟲害：生態學與流行學(邱人璋編)，中國農村復興聯合委員會刊印。

鄭清煥　何淑貞. 1997. 濾除紫外線塑膠布被覆對洋香瓜害蟲及瓜果產量影響評估。植保會刊 39:289-304。

鄭清煥. 1995. 人工飼料防腐劑之篩選及二化螟蟲在人工飼料發育之溫度需求。植保會刊37-29-40。

鄭清煥. 1995. 水稻害蟲之綜合防治。p.166-178. 永續農業研究與推廣之進展研討

會專輯(林俊義、洪海珠編)。中華永續農業協會。
鄭清煥. 1994. 番茄班潛蠅在洋香瓜上之生態觀察。中華昆蟲14:65-81。
鄭清煥. 1987. 嘉南地區瘤野螟之生態觀察。植保會刊29:135-146。
鄭清煥. 1976. 新育成抵抗褐飛蝨品種(系)室內抗蟲反應及其田間表現。中華農業研究25:259-268。
環保署. 1994. 台灣地區氣候變遷因素之初步評估及基本科技資料建立先期計畫。行政院環境保護署委託研究報告EPA-83-E3-02-03-20。
羅幹成. 1978. 台灣葉蟎類及防治方法對其天敵之影響。p.203-215。昆蟲生態與防治(蘇仲卿、嚴奉琉、林飛棧編)。中央研究院動物研究所，台北。
羅幹成 陳秋男. 1995. 台灣農作物害蟲生物防治近二十年之進展。植保會刊37:357-380。
Antignus, Y., N. Mor, R.B. Joseph, M. Lapidot and S. Choen. 1996. Ultraviolet-absorbing plastic sheets protect crops from insect pests and from virus diseases vectored by insects. Environ. Entomol. 25:919-924.
Bae, S.H. and M.D. Pathak. 1970. Life history of *Nilaparvata lugens* (Homoptera : Delphacidae) and susceptibility of rice varieties to its attacks. Ann. Entomol. Soc. Amer. 63:149-155.
Bachelet D., G.A. King and J. Chaney 1995. Climate change scenarios. p.67-83. *In* : Matthews R.B., M.J. Kropff, D. Bachelet and H.H. Van Laar (eds) Modeling the impact of climate change on rice production in Asia. CAB International, UK.
Benedict, J.H., D.W. Altman, P.F. Umbeck and D. R. Ring. 1992. Behavior. growth, survival and plant injury for *Heliothis virescens* (F.) (Lepidoptera : Noctuidae) on transgenic cottons. J. Econ. Entomol. 85:589-593.
Chen, C.N. and W.Y. Su. 1978. Influence of temperåture on the development and feeding amount of diamonback moth larvae on cauliflower. Plant Prot. Bull. (Taiwan) 20:224-231.
Cheng, C.H. 1984. Studies on integrated control of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) in Taiwan. Chinese J. Entomol. 4:149-168.
Csizinszhy, A.A., D.J. Schuster and J.B.Kring. 1995. Color mulches influence yield and insect pest populations in tomato. J. Amer. Soc. Sci. 120(s):778-784.
Domingo, I. And K.L. Heong. 1992. Evaluating high temperature tolerance in brown planthopper (BPH). Int. Rice Res. Newslett. 21:45-48.
Duan, X. L., X. G. Li, Q. Z. Xue, M. Abo-El-Saad, D.P. Xu and R. Wu. 1996. Tronsgenic rice plants harboring an introduced potato proteinase inhibitor II gene are insect resistance. Natural Biotech. 14:494-498.
Dyck, V. A., T. Htun, A. C. Dulay and G. D. Salinas. Jr. 1977. Forecasting rice insect density and damage to plants in Asia. Poper presented at Golden Jubilee Celebrations. Pattambi, India. 35pp.
Fujimoto, H., K. Iton, M. Yamamoto. J. Kyozuka and K. shimamoto. 1993. Insect resistant rice generated by introduction of a modified δ-endotoxin gene of *Bacillus thunngiensis.* Bio/Tech. 11:1151-1155.
Garcia, A. G. and P. P. Lwin. 1977. Rice agriculture and general situation of rice insect pests in Myanmar. p.184-205. *In* : Proc. Migration and management of insect pests of rice in monsoon Asia. China

Nat. Rice Res. Ins. Hangzhou.

Heong, K.L., Y.H. Song, S.Pimsamarn, R. Zhang and S. D. Bae. 1995. Global warming and rice arthropod communities. p. 326-335. *In* : Peng, S., K.T. Ingram, H.U. Neue, L.H. Ziska(eds) Climate change and rice. IRRI.

Hoffman, A.A. and M.W. Blows. 1993. Evolutionary genetics and climate change : Will animals adapt to global warming? p.165-178. *In* : Kareiva P. M., J. G. Kingsolver and R.B. Huey(eds.) Biotic interactions and global change. Sinauer, Sunderland, M.A.

Huey, R. B., L. Partidge and K. Fowler. 1991. Thermal sensitivity of *Drosophila melanogoster* responds rapidly to laboratory natural selection. Evolution 45:751-756.

IPCC-Intergovernmental panel on climate changes. 1990. Climate change. The IPCC scientific assessment. Houghton J. T., G. J. Jenkins., J. J. Ephraums (eds) University Press, Cambridge. 356pp.

Imai K. 1992. Physiological response of rice to carbon dioxide, temperature and nutrients. p.252-257. *In* : Peng, S., K. T. Ingram, H. U. Neue and L. H. Ziska (eds), Climate chang and rice.

IRRI. 1994. Transgenic indica rice plants containing the soybean kunitz trypsin inhibitor gene. *In* : Program rep. for 1994, IRRI, Los Banos, Philippines.

Kiritani, K. 1979. Pest management in rice. Ann. Rev. Entomol. 24:279-312.

Kiritani, K. and S. Iwao. 1964. The biology and life cycle of *Chilo suppressalis* (Walker) and *Tryporyza* (*Schoenobius*) *incertulas* (Walker) in temperate-climatte areas. pp.45-102. *In* : The major insect pests of the rice plant. IRRI.

Kisimoto, R. 1976. Synoptic weather conditions inducing long-distance immigration of planthoppers, *Sogatella furcipera* Harvath and *Nilaparvata lugens* StåI. Ecol. Entomol. 1:95-109.

Kisimoto, R. and V.A. Dyck 1976. Climate and rice insects. p.367-392. *In* : Proc. Symp. on Climate and rice, IRRI.

Liu, S.D. 1993. The application of fungicide resistant entomopathogenic green muscardine fungus in Taiwan : The biological control of coconut leaf beetle (*Brontispa longissima*) and diamondback moth (*Plutella xylostella*). p.266-275. *In* : Proc. Symp. on the use of biological control agents under integrated pest management. FFTC, Taipei.

Mochida, O. 1972. ^{14}C intake of *Nilaparvata lugens* (Stål) (Hom : Delphacidae) of different sexes and wing-forms from ^{14}C-labelled rice seedlings. Kontyu 40:69-71.

Mochida, O., E. A. Heinrichs and G. B. Aquino. 1983. Pest management systems on rice in the Pacific basin. Paper presented at XV Pacific Sci. Cong., Dunedin, New Zealand. 11pp.

Natwick, E.T. and A. Durazo Ⅲ . 1985. Polyester cover protect vegetables from whiteflies and virus disease. Calif. Agric. 3(7-8): 21-22.

Pathak, M.D. and G.S. Dhaliwal. 1986. Insect control. p.357-386. *In* : Swaminathan, M. S. and S.K. Sinha (eds) Global aspects of food production. IRRI.

Perring, T.M., R.N. Royalty and C.A. Farrar. 1989. Floating row covers for the exclusion of virus vectors and the effect on disease incidence and yield of cantaloupe. J. Econ. Entomol. 82:1709-1715.

Peters, R.L. 1991. Consequences of global warming for biological diversity. p. 99-

118. *In*: Wyman, R.L. (ed) Global climate change and life on earth. Chapman and Hall. London.

Quintana, A. and A. Prevosti. 1990. Genetics and environmental factors in resistance of *Drosophila subobscura* adults to high temperature schock. Theor. Appl. Genet. 80:847-851.

Rosenberg, N. J. 1989. Potential effects on crop production of carbon dioxide enrichment in the atmosphere and greenhouse-induced climate change. p.359-373. *In* : Climate and food security, IRRI.

Rosenzweig, C. 1990. Crop response to climate change in southern great plains: a simulation study. Prof. Geog. 42(1):20-37.

Schiller, J.M., V. Sengsoulivong and V. Manivong. 1997. Rice and IPM research in the Lao PDR. pp.167-183. *In*: Proc, Migration and management of insect pests of rice in monsoon Asia. China Nat. Rice Res. Inst. Hangzhou.

Schnider S. A. 1993. Scenarios of global warming. p.9-23. *In* : Kareiva P. M., J. G. Kingsolver, R.B. Huey (eds) Biotic interactions and global change. Sinauer, Sunderland, MA.

Sogawa, K. and P.T. Nhat 1997. Ecology of brown planthopper and impact of IPM in the Red River delta, Vietnam. p.150-166. *In* : Proc. Migration and management of insect pests of rice in monsoon Asia. China Nat. Rice. Res. Inst. Hangzhou.

Sugimoto, T. 1990. Biology of sweetpotato weevil. Pl. Prot. 44:107.114.

Suenaga, H. 1963. Analytical studies on the ecology of two species of planthopper, the white back planthopper (*Sogata furcifera* Horváth and the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål), with special reference to their outbreaks, Bull. Kyu shu Agr. Expt. Sta. 8(1):1-152.

Wiesenborn, W.D. and J.D. Morse. 1986. Feeding rate of *Scirtothrips citri* (Moulton) (Thysanoptera : Thripidae) as influenced by life stage and temperature. Environ. Entomol. 15:763-776.

White E.B., P. DeBach and M.J. Garbe. 1970. Artificial selection for genetic adaptation to temperature extremes in *Aphytis lingnanensis* (Hymenoptera : Aphelinidae). Hilgardia 40:161-192.

Xuyen, T.T. 1997. Ecology and IPM of the brown planthopper on rice crop in red river delta. p.124-149. *In* : Proc. Migration and management of insect pests of rice in monsoon Asia. China Nat. Rice Res. Inst. Hangzhou.

Zhang, X.X. 1991. Migration of rice leaf roller, *Cnaphalocrocis medinalis* Guenee in China. p.51-60. *In* : Proc. Migration and dispersal of agricultural insects, Nat. Inst. Agro-Environ. Sci. Japan.

Chapter 5　Impact of Global Climate Change on Crop Insect Pests in Relation to Pest Control Strategies in Taiwan

Ching-Huan Cheng
Chiayi Agricultural Experiment Station, TARI, Chiayi, Taiwan, ROC

ABSTRACT

Insect populations are affected by abiotic and biotic environment factors. Global warming will affect the insect distribution, composition of insect foana and the rate of insect population development directly. While the insect population abundance and its damage will be depended on the changes of cultivation and management patterns of crops responding to the weather conditions and social needs. Global climate changes may convert weather in Taiwan from subtropic into tropic conditions, thus providing more favorable situation for the multiplication of arthropods, and increasing species diversity and complexity in the ecosystem. If the weather condition is going to change as predicted, a warmer and drier winter may make conditions more favorable for insects to cause more severe damage in winter and spring crop, while higher temperature and rainfall in summer will hamper the population development of insect pests. However, the total losses of crop caused by insect pests due to the changes of climate directly may be not so much as compared to those due to the changes of varieties, cultural system and management of crops. Management of insect pests in the situation of diverse species and overlapping generations by using biotic measures, such as host plant resistance, biological and cultural measures are more reliable than by insecticidal applications. When successful control of the key pests is achieved through the use of control tactics other than insecticides, opportunity for the control of various potential insect pests by natural enemies will be increased. This control strategy is not only applicable for meeting the situations of global climate changes but also suitable for social demands in Taiwan.

Key words: Global climate changes, Impact on insect pests, Control strategy.

氣候變遷對農作物生產之影響
第6章　災害性天氣與氣候對臺灣地區農作物
生產的影響及因應策略 87-108, 1998

第六章　災害性天氣與氣候對臺灣地區農作物生產影響及因應策略

盧虎生　朱　鈞
國立臺灣大學農藝學系
王慶裕　朱德民
國立中興大學農藝學系

摘要……………………………………………………………… 88
壹、前言………………………………………………………… 88
貳、旱害與水害………………………………………………… 89
參、風害………………………………………………………… 92
肆、溫度災害…………………………………………………… 97
伍、因應策略…………………………………………………… 100
陸、結語………………………………………………………… 106
柒、引用文獻…………………………………………………… 106
英文摘要………………………………………………………… 108

第六章　災害性天氣與氣候對臺灣地區農作物生產的影響及因應策略

盧虎生　朱　鈞
國立臺灣大學農藝學系
王慶裕　朱德民
國立中興大學農藝學系

摘　　要

本省因地形與位置之關係，常易遭受各種氣象災害的侵襲，其中以颱風所帶來之災害最大，其次是水害、旱害及寒害。各種災害均帶給農作物極大之損失，其危害程度視氣象災害種類、發生頻度、時節、地區以及作物種類而異。事前的預防與災害補救措施，過去多年來政府均積極推行。面對未來災害之發生，加強研究、規劃作物安全栽培期及區域，建立有效的預警防範系統，以及有效的災害補救措施實為今後努力的目標。

關鍵詞：水害、旱害、颱風、低溫傷害、高溫傷害、預防策略。

壹、前　　言

全球氣候變遷中，「氣候的暖化」最為廣受人們重視，但是這種「氣候變異性」所導致之災害性天氣頻頻發生，使人們受到更多的衝擊。此種災害性天氣會在短時間內，危害人們的生命財產，對整個社會造成相當的危害；不僅如此，對農業上也造成無法彌補的損失。一般而言，災害性天氣與氣候對農作物、耕地、農業設施造成之傷害或損失，稱之為「農業氣象災害」。農業氣象災害按例是依氣象因素來分類，但由於各種氣象因素之變化彼此亦有相關，因此很難明確地區分。本報告係根據致害之主要氣象因素，將農業氣象災害分為下列三類：

(1)溫度變化所造成的災害：包括低溫寒害、高溫熱害及冰雹。

(2)降水量變化所造成的災害：旱害與水害。

(3)由於風的影響所造成災害：颱風、季節風及焚風等所造成之風害。

臺灣位於大陸與海洋交接地帶，高溫多濕為氣候的主要特徵，加上地形複雜，中央山脈由北向南橫亙排列，冬季易形成東北型季風，春夏之交受滯留鋒徘徊影響，連續下雨，易造成梅雨型天氣；夏季常受颱風不定期侵襲，因此每年農業氣象災害頻傳，災害相當多。表一為臺灣過去十年常見的農業氣象災害，其包括災害相當多，有水害、風害、旱害、寒害、冰雹等，每年平均損失幾近五十五億元，其中颱風所帶來的災害最大，佔整體的損失77%左右，其次水害約15%，再次為旱害約4.6%，寒害2.7%，風害約0.5%，其他災害損失較小(臺灣農業年報，1997)。

表一　1987年至1996年臺灣地區自然農業災害估計損失價值(單位：新台幣仟元)

年度	水害	風害	颱風	旱害	寒害	冰雹	焚風	其他	總計
76	632, 562	82, 438	3, 367, 004	-	-	-	-	11, 029	4, 093, 033
77	2, 222, 874	-	522, 057	-	-	-	-	-	2, 744, 931
78	267, 450	193, 691	4, 533, 692	-	-	-	-	7, 560	5, 002, 383
79	1, 474, 013	-	4, 951, 618	-	-	-	-	-	6, 425, 631
80	1, 371, 207	-	1, 687, 983	1, 819, 220	140, 582	-	-	-	5, 018, 992
81	614, 586	-	2, 497, 600	-	-	195, 432	-	-	3, 307, 618
82	950, 460	-	-	80, 442	228, 042	-	-	-	1, 258, 944
83	293, 990	-	7, 970, 622	-	-	-	25, 260	3, 846	8, 293, 628
84	30, 111	-	814, 533	-	1, 125, 489	-	40, 578	81, 360	2, 092, 077
85	152, 167	-	15, 793, 359	603, 464	-	-	-	51, 323	16, 600, 313
合計	8, 001, 420	276, 119	42, 138, 468	2, 503, 126	1, 494, 113	195, 432	65, 838	136, 535	54, 837, 550
百分率(%)	14.6	0.50	76.8	4.56	2.72	0.35	0.12	0.24	

(臺灣農業年報，1997)

貳、旱害與水害

隨著大氣中二氧化碳逐年增加使地球之溫室效應日益嚴重，溫室效應之影響包括提高地球溫度、溶解南北極冰山、提高海平面高度及改變氣候形態，使得旱害、水害情況更加明顯。旱害與水害是本省農業災害損失中僅次於颱風之第二嚴重災害，分別約佔整體損失之5%與15%左右（表一）。所謂旱害與水害係指因降雨量變化，引起作物生長環境缺水或水分過多，導致作物生長受阻、產量銳減等嚴重傷害。在缺乏灌溉系統之農田，由於長期乾旱乏雨導致農作物枯萎脫水或死亡，稱為旱害。因颱風豪雨、連續性降雨或融雪導致發生洪水、淹水或積水，使農作物耕地或農田設施埋沒沖毀，稱為水害。根據臺灣農業年報(1997)指出，1996年本省之三月及七月旱害被害面積達9,300公頃，估計損失達6億元。而四、五月份豪雨及十一月霪雨，以及八、九、十一月颱風帶來之水害被害面積達　228,603公頃，估計損失新台幣約150億元。由此可見臺灣地形特殊，一年之內不但發生水害亦發生旱害，而且其發生的頻度相當高。

一、旱害

(一)旱害發生之次數、時節與區域

臺灣多雨，一般平原地區年降雨量超過1,500 mm，山地則可達4,000 mm，理論上不會乾旱缺水，但由於下列原因使週年雨量分配不均，亦可能造成旱害的發生：

1. 因地形與季風影響，造成西南部平原地區年雨量分布不平均而有明顯乾季。臺灣地區冬季東北季風盛行，登陸後與中央山脈接觸上升而冷卻成雨，造成東北部之雨季；但氣流越過山脈後，水氣減少使西南部地區發生乾季。
2. 於二、三月間，亞洲地區之移動性高氣壓路徑偏南，抵達臺灣上空之空氣較為乾燥，造成春季旱害。
3. 在五、六月間，臺灣東方廣大海洋之溫度上升，常造成太平洋副熱帶高氣壓提早發展而西伸，壓制臺灣附近海域低氣壓之發展，使梅雨減少。
4. 秋季颱風若在東經126度以東即轉北，則臺灣盛行西北氣流，可能使二期水稻在抽穗至成熟期間發生缺水旱害。

通常上述原因同時有兩項發生時，旱害時間較長也較嚴重。雖然乾旱易使作物產生旱害，但在灌溉水源充足及灌溉系統良好之地區，發生短暫乾旱時仍可藉由抽取地下水或其他灌溉措施補救。然而缺乏灌溉之看天田，短期乾旱情況下即足以造成旱害。農作物對於乾旱之耐性依作物種類、生育時期而異，例如水稻較旱作高粱、玉米等需水較多，其耐旱性亦較差。水稻在成熟初期尤其容易遭受旱害。

根據1966-1979年臺灣各地旱害資料顯示，農作物發生旱害以五月份最多。歷年發生九次旱災中，五月份發生次數佔55.5%，以西南部平原較多；主要原因是西南部平原冬季有長達4-5月之乾季，若五月再持續乾旱則農作物易生旱害。根據1996年臺灣農業氣象災害資料顯示，本省旱害多集中在三月及七月份。近年來由於灌溉系統建立及多功能水庫興建，使得旱害發生次數逐年降低。一般以缺乏灌溉設施之沿海田地、山坡地及東部沿海田地較多。

(二)旱害對農作物造成之損害

臺灣地區發生旱害時受害作物以甘藷、落花生、水稻較多(郭，1980)。於1993年11-12月，台中縣新社鄉久旱不雨，由於缺乏灌溉致使採種高粱缺株、植株矮小、穗短小、病蟲害猖獗，而嚴重減產38.5%。當發生旱害時，茶樹生長停止形成駐芽，隨旱害程度加重頂部葉片開始黃化，出現焦斑而全葉枯死，或整葉直接褐化枯死。尤其以青心烏龍品種受害最嚴重。研究者建議新植茶園應先深耕，植後應加強灌溉設施及土壤覆蓋(敷蓋)管理，減輕旱害。由於不同的灌溉系統、土壤特性、作物生長時期及作物種類不同而造成不同程度的旱害。

臺灣地區主要之農作物旱害頻度分布，根據臺灣省農林廳整理之資料(臺灣農業年報，1997)顯示，1996年臺灣地區農作物主要遭遇之旱害分別在三月及七月。茲分別就相關作物整理成表二，從表二可知發生旱害損失之農作物主要是水稻、玉米、花生、甘藷及茶等農藝作物，以及蔬菜、果樹等園藝作物。發生旱害主要以台東縣、花蓮縣及宜蘭縣為主。雖然僅台東縣有較詳細之查報損失數量，但從作物受害面積來看花蓮縣、台東縣及宜蘭縣分別約佔5,800、2,000及1,300公頃，以花蓮縣遭受旱害之農作物栽培面積較大。

二、水害

(一)水害發生之次數、時節與區域

本省豪雨或連續性降雨對農作物造成之災害損失僅次於颱風害。本省山坡地較多、坡度較陡，栽培之甘藷、落花生遭遇豪雨時，常被洪水沖失或土石埋沒。城市附近之田地由於房舍建築影響排水，一遇豪雨容易積水，使水稻、大豆等作物發生水害。但在水害中通常以梅雨季之連續降雨，對本省農作物造成之損失最為嚴重(郭，1980)。從過去1991-1993臺灣地區降雨資料分析，可知冬季(11、12月及1月)降雨受東北季風影響很大，降雨主要分布在東北部。3、4月降水，尤其是春雨，多分布在西北部地區。5、6月梅雨季偏西南部地區，且大雨多在平原地區。7、8月時因西南季風及颱風，東部及西南部地區降水增多且多分布在山區。秋季(9、10月)降水受颱風路徑影響，故降水多分布在東半部地區。

臺灣地區之降水類型依吳等(1978)及周(1964)(參考郭，1980)報告分為五種，分述如下。其單獨一種或兩種以上均可造成豪雨或連續性降雨，而對本省之農作物造成災害。

1.東北季風雨：

自九月下旬，大陸高氣壓增強，冷氣團經海面吸收水氣到達臺灣東北恰為迎風面，因此東北季風遇山攀升造成基隆南方山地大屯山一帶及宜蘭西南山坡之霪雨，使蘭陽平原二期水稻倒伏發芽。

2.鋒面雨：

自大陸東移之溫帶氣旋，其鋒面系統所經地區往往均可降雨，此類降雨除夏季外各季均可發生，雨日不多但雨量大。徐

表二 民國85年(1996)臺灣地區主要農作物旱害損失摘要

被害作物	旱害月份	發生縣市	被害面積（公頃）	損失數量（公斤）
水稻	七月	花蓮縣	80	118,667
飼料用玉米	七月	台東縣	6	-
	七月	花蓮縣	962	-
食用玉米	七月	台東縣	15	31,400
	七月	花蓮縣	26	-
落花生	七月	花蓮縣	361	-
甘藷	七月	台東縣	15	55,205
茶	七月	宜蘭縣	246	-
	七月	台東縣	190	51,129
	七月	花蓮縣	202	-
原料甘蔗	七月	花蓮縣	1000	-
竹筍	七月	宜蘭縣	50	-
西瓜	七月	花蓮縣	315	-
蔬菜	七月	台東縣	65	307,462
	七月	花蓮縣	360	-
鳳梨	七月	宜蘭縣	2	-
	七月	台東縣	30	384,273
	七月	花蓮縣	50	-
柑桔	七月	宜蘭縣	385	-
	七月	花蓮縣	186	-
柚	七月	宜蘭縣	314	-
	七月	台東縣	311	744,310
	七月	花蓮縣1	,381	-
檳榔	七月	宜蘭縣	67	-
	七月	花蓮縣	761	-
木瓜	七月	台東縣	12	82,200
	七月	花蓮縣	110	-
蓮霧	七月	宜蘭縣	216	-
枇杷	三月	台東縣	35	71,940
梅	三月	台東縣	655	1,029,196
梨	三月	台東縣	26	87,500
	七月	宜蘭縣	8	-
番荔枝	七月	台東縣	679	1,377,000
其他青果	七月	台東縣	26	9,144

(臺灣農業年報，1997)

等(參考郭，1980)認為梅雨期之降雨形式是半屬於鋒面雨(春雨型)，半屬於對流性雨(夏雨型)。

3.西南氣流引起之熱雷雨：

本省夏季盛行之西南或東南季風，地面因受強烈日照使得高溫多溼之熱帶海洋氣團旺盛對流，導致全省發生熱雷雨。通常以西南部地區較頻繁，降雨強度大，造成低窪地區之水稻等作物受損。

4.颱風雨：

每年五月至十一月為臺灣之颱風季，尤其以七、八、九月最盛，颱風時帶來充沛雨

量亦造成豪雨危害作物。

5.熱帶性低壓雨：

此類降雨與颱風類似，唯其環流範圍較小，渦旋強度不及颱風。

綜合歷年本省各地農作遭受水害情形可知，本省春季三、四月之鋒面雨常使台北低窪地區之水稻、蔬菜受災。五、六月間之梅雨造成之災害區域較大，通常包括東南部地區，約持續3-5日。如梅雨鋒面滯留時間較長則受害區域隨之擴大。由於梅雨期間所造成之雨害機率很大、損失亦多，為本省農作物雨害最嚴重之時期。夏季(七、八月)除了颱風之豪雨造成災害外，熱雷雨對農作物造成水害之機會很少，受害地區以屏東較多。九月起東北季風增強，東北部及北部降雨增加，通常霪雨日數如持續四日，日平均降雨達28mm左右，可使蘭陽平原二期水稻及蔬菜等受災。

(二)水害對農作物造成之損害

臺灣主要農作物之水害情形大致綜合如下：

1. 水稻：水害發生主因除了受降雨量直接影響外，亦與稻田排水及生育時期有密切關係。低地或排水不良時易發生積水，抽穗期霪雨則影響授粉，成熟期豪雨則發生倒伏發芽，故各地水稻水害多限於特殊地區及時期。
2. 玉米：本省玉米僅六月份受梅雨季之長期霪雨或豪雨之影響，有水害發生。受害地區包括高雄縣、台南縣及新竹縣等。
3. 甘蔗：本省甘蔗栽培多在排水良好之旱田，且蔗株較高，受霪雨影響小。罹水害之機會少，僅六月份較多。
4. 甘藷：由於甘藷蔓生於地面其塊根最忌積水，土壤通氣不良易遭水害。
5. 落花生：此作物於開花期至結實期最忌霪雨。梅雨期(5-6月)正值中南部春作落花生之開花期至結實期，故水害次數較多。

參、風害

風害是本省最嚴重的農業氣象災害。所謂風害是由於風速過強對農作物、耕地及田地設施所造成的傷害及損失。發生強風的氣象原因不同，風害又可分為颱風害、季節風害及焚風害。颱風害多半發生在夏季，其危害為偶發性，每次危害時間短，三至五天不等，但強風挾帶暴雨破壞力強，危害面積廣，對農作物造成極大的損失。季節風害多發生在冬季，具有季節性及區域性，持續時間較長，對農作物傷害不甚嚴重。焚風發生時間更短，通常持續幾小時，危害面積小，發生地區也只限於特殊地區，對於作物傷害影響較小。

一、颱風害

(一)颱風災害發生之次數、時節及區域

颱風為發生在太平洋或中國南海之熱帶氣旋，其中心通過臺灣或經過臺灣海面時，所挾帶的狂風暴雨，往往對本省人民生命財產、農作物產生極大的傷害及損失。根據過去一百年(1897～1996年)的氣象記錄指出侵襲臺灣的颱風達391次，平均每年有3.91次。颱風侵襲臺灣最早始於每年四月下旬，最晚終至十一月下旬，期間長達半年之久。在過去一百年期間391次侵臺颱風資料中發現四月份發生有二次，佔0.5%；五月份有13次，佔3.3%；六月份有23次，佔5.9%；七月份有99次，佔25.3%；八月份有115次，佔29.4%；九月份有94次，佔24%；十月份有36次，佔9.2%；十一月份只有9次，佔2.3%。由此可知颱風侵襲臺灣以每年七、八、九三個月頻度最高(臺灣農業年報，1997)。

颱風的強度按照中央氣象局分類，中心最大風速達17.2～32.6 m/s為輕度颱風，32.7～50.9m/s為中度颱風，超過51m/s為強度颱風。又再根據中央氣象局過去八十年記錄，將颱風侵襲行走的路徑，可以歸納為七類，如圖一所示(郭，1980)：

第一類為通過臺灣北部或北部海面，向西或西北進行，北部及東北部降雨最多，

發生所佔比例為27%。

第二類為穿過本省中部，向西或西北進行，約佔侵襲颱風總數的13%。颱風中心登陸前，北部及東部雨量多，通過中南部山區雨勢最強。

第三類為通過南部或南部近海，向西或西北進行，約佔總數的32%，此類路徑發生最多，以東部降雨最多，其他地區降雨不多。

第四類為沿東部海面北上，佔11%，東部降雨最多。

第五類為沿西部海岸或臺灣海峽北上，佔侵襲颱風總數的6%，中南部地區降雨最多，山區更是強烈。

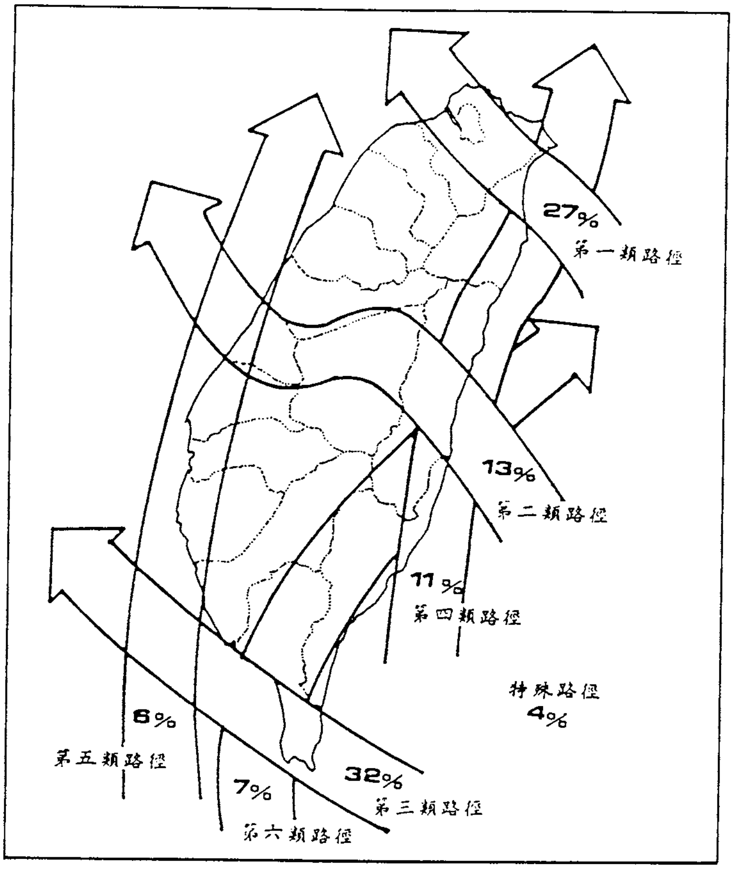
第六類為通過本省南端，再向東北方向出海，發生率佔7%。

第七類為不屬於以上六類之特殊路徑，發生率佔4%。

(二)颱風對農作物造成的災害

颱風的特徵為狂風暴雨，對農作物造成的傷害，除了狂風使植株發生折斷，其所挾帶的暴雨，使農田或農作物發生浸水，埋沒或流失。沿海的農田常因颱風侵襲造成海水倒灌而無法耕作。

雖然過去百年，颱風侵襲臺灣每年平均發生的次數為3.91次，但是每一颱風所造成的損失並不相同。以1996年為例，當年有四個颱風侵襲臺灣，其中八月份賀伯颱風，危害最大，被害面積達208,122公頃，損失估計達新台幣147億餘元。同一個月所發生的葛樂禮颱風被害面積為11,259公頃，估計損失為6億9千餘萬元；而九月份發生的薩恩颱風，被害面積只有148公頃，損失僅有1千6百萬元(臺灣農業年報，1997)。颱風侵襲時，幾乎無一作物能倖免，水稻、甘蔗、玉米等重要農藝作物及蔬菜、花卉、果樹均包含在內



圖一 颱風侵襲臺灣行走的路徑 (郭，1980)

。表三為1996年賀伯颱風侵襲本省時，農藝作物受害面積及損失金額的估計。由表三可見，水稻受害面積最大，其他為原料甘蔗、落花生、玉米、茶均受其嚴重傷害。

表三 1996年賀伯颱風對臺灣地區農藝作物所造成的損失 (單位：新台幣)

作物	受害面積 (公頃)	百分率 (%)	估計損失金額 (仟元)	百分率 (%)
水稻	29, 166	52. 04	644, 292	31. 40
飼料玉米	1, 682	3. 00	248, 822	12. 30
食用玉米	1, 501	2. 67	125, 459	6. 11
高粱	40	0. 07	6, 023	0. 29
大豆	1, 566	2. 43	29, 397	1. 43
落花生	2, 539	4. 53	69, 916	3. 40
甘藷	754	1. 34	117, 438	5. 72
芝麻	64	0. 11	1, 754	0. 08
茶	1, 890	3. 37	152, 009	7. 40
原料甘蔗	15, 855	28. 30	496, 062	24. 17
生食甘蔗	357	0. 63	644, 476	3. 14
牧草	821	1. 46	96, 167	4. 68
合計	56, 035	100	2, 051, 815	100

(資料來源：農業年報，1997)

園藝作物則以果樹損失最大，其次為蔬菜(表四)。無論是受害面積及所估計之損失金額均超過農藝作物。

表四 1996年賀伯颱風對臺灣地區園藝作物所造成的損失 (單位：新台幣)

作物	受害面積 (公頃)	百分率 (%)	估計損失金額 (仟元)	百分率 (%)
花卉	860	0. 90	436, 196	3. 42
蔬菜	30, 745	32. 41	2, 658, 338	20. 89
果樹	63, 257	66. 68	9, 630, 350	75. 68
合計	94, 862	100	12, 724, 884	100

(資料來源：臺灣農業年報，1997)

颱風侵襲對農作物造成傷害大小與風速、颱風範圍以及所挾雨量有關，除與本身發展特性有關以外，與侵襲路徑、經過的地形、發生的月份以及當時作物生長狀況有密切關係。臺灣有中央山脈，由北向南縱行排列，當颱風侵襲時，其環流常被山脈破壞，因而會影響颱風強度及路徑方向。當颱風經由北部向西北進行(第一類路徑)，對本省北部及東北部生長的作物會造成嚴重損失。當颱風直接穿越本省中部時(第二路徑)，以登陸之東部地區受害最嚴重，中央山脈以西的中部平原，因受山脈屏障，受害程度較小；但是此一路徑的颱風，穿越中央山脈時，往往會引起暖溼氣流沿山脈上

升，引起豪雨，造成山洪暴發、土石流，其災害往往廣及全省。1996年賀伯颱風，不僅在中部橫貫公路造成土石流、山崩，本省十五個縣市作物均遭受到嚴重的損害。

當颱風通過南部或南方近海，向西或西北進行(第三類路徑)，則強風對台東、高屏地區農作物威脅較大，其降雨以東部、台北、宜蘭較多。若颱風登陸東部或沿東海岸北上(第四類路徑)，則對東部地區農作物造成嚴重災害。若由中國南海穿越臺灣海峽北上，則南部及西部平原農作物造成嚴重的損失(郭，1980)。

颱風對農作物傷害除了與颱風強度、範圍、雨量、行走路徑有關外，與侵襲時作物生長狀況及作物栽培面積有密切關係。水稻為本省最重要的作物，栽培面積最廣，栽培季節主要分一期作(春作)及二期作(秋作)，一期作由一月下旬至六月中旬，二期作從七月下旬至十一月下旬。由前述所知，本省遭受颱風侵襲之時期自四月至十一月，而以七、八、九三個月侵襲率最高，因此本省中北部地區一期作成熟期及各地二期作皆在颱風侵襲期間。颱風所挾帶狂風暴雨，使稻田浸水、埋沒或沖蝕，其強風可使稻株折斷、倒伏，抽穗期延遲，不稔性增加，下葉黃化枯死，及產量減少(農林廳，1995)。

本省甘蔗栽培於大安溪以南，生長期相當長，至少十二個月，所以甘蔗在生長期或多或少遇到颱風的侵襲，蔗莖折斷、倒伏，葉片損傷引起生育不良，甘蔗產量明顯減少(農林廳，1995)。玉米、高粱、落花生等雜糧作物，颱風風害除折斷莖稈，造成倒伏外，田地淹水，使植株根部發生腐爛，若遇成熟期，子粒在植株上容易發芽，千粒重降低，不稔性增加，產量減少。

茶樹為多年生的灌木，雖然以採收茶芽為目標，但本省茶樹生長多在山坡地區，容易遭受颱風所帶來的水土沖刷，枝條斷落，葉片受損，影響製茶品質(農林廳，1995)。果樹多為多年生作物，風害引起落葉、落花、落果，嚴重時會發生折枝、折幹，整株倒伏等，因為果樹為多年生作物，風害引起之減產不只發生在風害當年，對次年以後生育、開花、結果亦有不良的影響(真木，1995)。

本省中南部為夏季蔬菜的重要產地，颱風所挾帶的豪雨，使生長的蔬菜根部腐爛，莖葉軟腐，再加上颱風過後高溫強日的照射，蔬果更易腐爛，因此歷年颱風侵襲對本省蔬菜所造成損失相當大。

二、季節風

臺灣因地理之關係，每年九月中、下旬至翌年四月中、下旬受亞洲大陸高氣壓的影響，北部均籠罩在強勁東北季風下，最高風速可達20 m/s，這種強風常使作物葉片裂傷，植株倒伏；由於季節風多發生在冬季，低溫相伴易使作物發生寒風害。當季節風吹過海面時，常引起風浪，夾帶鹽分，附著於作物表面，加速作物傷害。

同時東北季風遇山脈而上升，而常造成臺灣北部基隆、大屯山一帶、及宜蘭西南山坡地區霪雨，是為東北季風雨。本省除了東北季風外，在夏季又有西南季風，由於西南季風對農作物影響不大，一般很少注意。東北季風，風力強勁寒冷，對農作物傷害相當大，臺灣北部濱海農田，歷年來因受東北季風影響，廣達四千餘公頃農地，而呈休耕狀態。

(一)季節風災害發生之次數、時節及區域

季節風是隨季節變化而產生的，呈有規則持續性的變化，但季節風的大小卻依地區、年代有所不同。依林及張(1996)調查，1990年桃園觀音沿岸地區9月～11月季節風平均風速2.14 m/s，1991年同一地區風速為3.57 m/s。根據李(1996)選取新竹、梧棲、嘉義、恆春、花蓮、澎湖等六地區，統計近十年(1985～1994)年東北季風期(10月至翌年3月)，各月份之平均風速，以梧棲的平均風速7.3 m/s最大，其次澎湖在5.0～6.3 m/s之間，恆春3.4～4.6 m/s。再看上述地區在本期間之月最大風速及月平均強風日數(表五)，仍以

梧棲17.6～21m/s最高，月平均強風日數達19.1～23.1日之多，其次是恆春和澎湖最大風速11～14m/s，強風日數為3.7～8.8天，其他地區風速數小而差異不大。

本省東北季風發生始於每年10月，而終於翌年3月，期間長達半年之久，其中以10～11月為盛期，農作物損失，根據農業年報(1990)指出，1989年被害面積為8,427公頃，全部損失估計在新台幣1億9千萬元。

表五 臺灣各地區東北季風期間月平均最大風速及月平均強風日數(1985～1994)

地點	月份					
	1	2	3	10	11	12
新竹	7.9	7.7	8.2	9.4	8.3	8.2
	(0.1)	(0.0)	(0.1)	(0.8)	(0.6)	(0.4)
梧棲	19.1	18.6	17.6	21.0	19.9	19.3
	(23.1)	(19.8)	(19.1)	(22.9)	(19.7)	(2.22)
嘉義	9.3	9.2	8.7	8.6	8.8	8.7
	(0.7)	(0.2)	(0.2)	(0.2)	(0.1)	(0.3)
恆春	11.9	11.5	11.7	14.0	13.5	12.1
	(5.1)	(4.2)	(3.7)	(6.2)	(8.0)	(7.6)
花蓮	9.9	8.8	8.6	9.1	9.3	8.5
	(1.0)	(0.7)	(0.5)	(1.0)	(0.7)	(0.8)
澎湖	11.7	11.6	11.3	13.8	13.5	12.5
	(6.1)	(3.8)	(4.4)	(8.8)	(8.4)	(7.8)

註：(　)內為強風日數。　　(資料來源：李，1996)

(二)季節風對農作物產生之災害

強勁季節風對作物的危害因作物的特性、作物種類、生育期、生長狀態及栽培條件不同而有很多的差異。強風使作物莖葉、枝條、果實、穀粒強烈搖動，發生裂傷，及碰撞、撕裂等傷害；強風折斷莖幹，特別是高莖作物發生倒伏。強風促進蒸散作用，使作物發生缺水障礙；若風中含有鹽分，則對作物的危害則是雪上加霜造成嚴重鹽害。

根據李(1996)以1984～1988年台中、雲林、嘉義三地區沿海與內陸水稻產量相比較，發現不論一期作或二期作，內陸地區產量皆較沿海地區產量為高，也發現風速愈大，產量愈低，並指出中部(或以北)地區水稻產量顯著受到風速影響，隨著緯度降低，影響越小。在期作方面，第二期作產量較一期作容易受風速影響。據作者推測其原因，可能因為二期作水稻生育後期(抽穗至成熟)正值10～12月，此時已盛行東北季風，風速大小影響水稻結實率。

林及張(1996)指出水稻生育期受風速影響，以稔實率影響最大，次為千粒重，不但對產量有影響，且降低稻米品質，尤以中晚熟品種為甚。江幡及石川(1989)並指出正當水稻抽穗時若遇到強風4 m/s以上吹襲1小時，百粒重即有下降的趨勢，且米質劣化，抽穗後21天，如遇強風，會產生許多畸形米、乳白米；其主要原因是強風使葉片及穎果受損，使其同化機能及儲藏能力下降。

三、焚風

焚風不似颱風、季節風，它是一種局部性乾熱風，發生面積較小，持續的時間亦短。發生的原因係由於溼熱空氣受山嶺阻隔，被

迫上升，呈絕熱冷卻，水汽凝結成雲雨，降在迎風面山坡上，越過山嶺後而下降之空氣因絕熱增暖遂成為乾燥空氣，顯著地比鄰近空氣溫度高且乾燥，此種下降的氣流所形成的風為焚風(郭及楊，1982)。焚風可分為季節風及颱風強勁氣流所引發的焚風。前者多發生在1～5月春季梅雨前，後者以夏秋颱風所引發的焚風，多集中在7～9月間。臺灣的焚風約70%由颱風所引起。焚風發生時間、地區及所造成的高溫、風速，因地形不同而不同。以1996年台東地區為例，說明焚風發生的時間、溫度及相對溼度(表六)。

表六 1996年台東地區所發生的焚風

發生日期	發生時間長短(小時)	溫度(℃)	相對濕度(%)	最大風速(m/s)
2月14日	7	22～37	87～20	9.6
3月15日	10	22～39	80～23	11.7
5月 7日	8	25～36	92～40	9.7
6月21日	5	30～38	85～35	13.0
7月24日	7	28～39	85～45	10.5
7月31日	6	28～34	96～48	22.9

(資料來源：鄭，1977)

由表六可知1996年台東地區在半年以內，焚風發生達六次之多，焚風發生時溫度驟然上升，最高可達39℃，相對濕度驟然下降至20～23%左右，風速很大，由9.6 m/s至22.9m/s 不等，持續發生的時間5～10小時左右，焚風最大的特徵是高溫、低濕及強風。

焚風來襲時所帶來的高溫、低濕、再伴著強風，易造成植株莖葉凋萎，嚴重時會枯死，特別是果樹易發生脫水現象。邱等(1991)調查台東地區華盛頓臍橙遭受焚風時，落果率高達100%，最後無產量可言。

1994年10月10日在台東關山及池上地區由於席斯颱風過境帶來焚風，最高溫為38.5℃，最大瞬間風速19.7 m/s，平均風速為3.0 m/s，此時正值二期稻作糊熟期，結果稻穀外表變黑，少數晚植的水稻品種正值抽穗期，結果造成高度不稔，減產率高達40%(農林廳，1995)。李(1995)調查1984年8月7日花蓮地區所發生的焚風，強度颱風道格帶來焚風，最高溫37.0℃，熱狂風持續10小時，但對水稻產量影響不大，可能是水稻正值幼苗期，在浸水環境中成長，影響較小；同年8月20日佛魯特颱風亦帶來36℃無雨焚風，此時水稻正值分蘗，但在水田湛水下，焚風對水稻生育影響亦不大。

鄭(1996)調查台東地區焚風對茶樹生長的影響，六次焚風其最高溫為34～39℃，相對濕度20～48%，造成8～40%茶芽受害，葉尖、葉緣呈乾枯燒焦，成熟葉葉緣及葉肉內部紅變，嫩梢生長停滯；新長出的茶芽出現受害癥狀，品質降低。由此可見焚風發生雖然持續的時間較短，有時對作物也造成相當的損傷。

肆、溫度災害

溫度是支持作物生長必要的環境因子之一，各作物在其栽培週期中依生育階段不同而各有其最適溫度與最高或最低之所謂主要溫度(cardinal temperature)。氣溫超過此最高

或最低界限溫度，皆可使作物喪失經濟產量而列入災害範圍。因溫度變化所造成之災害，一般包括了寒害、霜害及高溫傷害(熱害)，惟目前本省農林調查上多僅包括寒害與霜害，並沒有高溫災害的明顯定義與紀錄。依作物的生理反應而言，一般溫帶與亞熱帶起源的作物，在氣溫低於10℃或高於35℃時，多會導致明顯的生育障礙，因而可能造成經濟產量的損失。

本省位於亞熱帶，氣候平日尚屬溫暖，農耕地之年平均氣溫超過20℃，惟每年秋末至隔年初春之際，由於極地或大陸冷氣團南下，亦即所謂「寒潮」，氣溫可降至10℃以下，屢造成寒害的發生。此時若低於5℃，即可能造成霜害。由本省1951年至1996年的統計分析，寒(霜)害發生的頻率及所造成的損失，次於水害、風害(含颱風)與旱害，是為本省第四大氣象災害(楊及張，1989)。

雖然高溫可能造成的作物傷害在本省並未列入調查，但本省夏秋季期間也常有35℃以上的高溫發生，在未來氣候變遷的趨勢下，此頻率也可能提高，其是否會造成作物損失以至成災值得加以重視。在全球氣候變遷的趨勢下，包括低、高溫所謂的「異常氣象」發生頻率可能增加，本省可能也不例外，寒害與熱害發生的機率，極需要加以評估，以防範未然。

一、低溫災害

(一)低溫災害發生之次數、時節與區域

由表七的整理顯示，1983年至1996年十三年間共有6年曾發生與低溫有關的災害，分別是寒(霜)害發生於1986、1991、1993、1995年，而冰雹發生於1983與1992年。其中以1986年之寒(霜)害最為嚴重，計造成約8億元的損失。此發生的次數與1983年以前的統計相比較，並沒有明顯的差異(楊及張，1989)。以寒害發生之最低氣溫而言，表七中1986年最嚴重之寒(霜)害發生時，嘉義的最低氣溫為3℃左右，此與1983年以前之紀錄相較也並不特殊(楊，1979；楊及張，1989)。

就寒(霜)害發生的月份觀之，以1、3月最多，2月與12月其次；冰雹則發生於1月、3月與4月。此紀錄與以前的統計資料相較也沒有明顯的差異。

在發生的區域方面，多集中於南投、嘉義與高屏地區；台北、台中與彰化地區則零星發生。這些區域仍是過去以來被認為易發生低溫災害的區域，似乎並沒有擴展至其他區域的現象。

由上述的討論可知，臺灣地區作物低溫災害的發生，有時節與區域的特性。此大致與該地區作物的栽培季節及地形易發生低溫的程度有關。以雲嘉地區為例，每年12月至次年3月間之平均溫度約在16至18℃之間，此尚在作物可接受的生長溫度範圍內，因此農地上仍種植多項秋、冬季作物。此時若大陸強烈寒潮來襲，由於此區域地形平坦，輻射強烈，溫度下降急速且屢低於5℃左右，因此造成多項作物受損。又台中與南投地區(如埔里)屬於盆地地形，因冷空氣比重較大易向低處集中，這些地區是冷空氣易於集中處，當寒潮發生，氣溫若低於5℃，此地區因冷空氣集中而易形成霜害。歷年來此低溫災害的區域、季節似乎沒有擴大的趨勢。

(二)受害作物種類

由表七的紀錄也可看出本省受低溫災害的作物，集中於水稻、玉米、蓮霧、香蕉、香瓜(或瓜類)、鳳梨及木瓜等作物，歷年來似乎也變化不大。此一方面與該作物的栽培季節有關，一方面與該作物對低溫的敏感性有關。水稻是一典型的例子，每年早春(1-3月)正值一期作秧苗期，對低溫敏感易受寒害，而晚秋(11月)如正值二期作穗發育期(甚至是花粉母細胞分化期)，對低溫更敏感，極易遭受寒害。其他作物如蓮霧等，秋末至早春也處於低溫敏感期，而容易受害。由上述討論可知，低溫地區與季節屬於環境自然因子，人為不易改變；

表七　臺灣地區民國72年(1983)至85年(1996)寒、霜、冰雹災害受害狀況表

年度	月份(災害別)	作物	地區	全年受害面積(公頃)	全年受損價值(千元)
1983	1(寒害)	特作	南投、嘉義	2,388	323,049
		青果	南投		
	3(冰雹)	茶	南投		
	1(霜害)	玉米、甘藷、其他特作、其他蔬菜、香蕉、鳳梨、其他青果	南投		
1986	3(寒害、霜害)	水稻	宜蘭、雲林、臺中、南投	(寒害)19,191	478,242
	3(霜害)	玉米、其他蔬菜、香蕉、西瓜、香瓜、其他青果	南投、臺南、臺中	(霜害) 3,081	245,575
	3(寒害)	其他蔬菜、西瓜、瓜子瓜、其他青果	雲林、宜蘭、屏東		
1991	12(寒害)	蔬菜、蓮霧、花卉、其他作物	臺北、彰化、高雄、屏東	802	140,582
1992	4(冰雹)	水稻	高雄、臺東		
	4(冰雹)	食用玉米、蔬菜、洋香瓜、香蕉、鳳梨、芒果、蓮霧、其他青果	高雄、屏東、	1,903	195,432
1993	1(寒害)	水稻	屏東		
	1(寒害)	飼料玉米、蔬菜、蓮霧	臺南、屏東	2,925	228,042
1995	2(寒害)	芒果、蓮霧、梨	臺南、屏東、高雄、苗栗、臺中	5,282	1,125,486

(依民國72年至85年之臺灣農業年報整理)

但作物栽培屬人為操作，調整作物種類與栽培週期可能是避免低溫災害最直接的方法。例如中央氣象局曾依臺灣各區域內高、低溫發生頻度與各作物栽培適性，規劃出臺灣各地區的多種作物的「安全栽培」期限，即是有建設性的策略(曾等，1984)。

二、冰雹

由表七的資料也顯示1983年至1996年間共發生2次冰雹災害，分別是1983年之3月與1992年4月，季節上多屬於早春，氣候較不穩定之時節。惟1998年2月17至23日之間，臺灣中南部由苗栗至高雄七個縣發生嚴重冰雹，農作物甚至家畜皆遭受嚴重損失，估計達三億元以上。值得注意的是這是近15年來首次在2月份發生大規模的冰雹，較一般提早一個月左右，多數氣象學者多歸因於「聖嬰」(El Nino)現象所導致之全球氣候變遷，是否真實如此需要更長期的觀察。

冰雹多發生於早春甚至夏季氣候不穩定之際，此時若氣流上下對流旺盛，積雨雲中之水滴隨旺盛之上昇氣流升高至低溫結凍層(freezing level)以上時可凝結成小冰球，當冰球重量加大時由於重力而下降，此時若遇

下層較暖溫度時可蒸發部份水分，但若再遇旺盛上昇氣流時，則小冰球再度上升，並在上升時再凝結高層雲氣中之水滴，冰球體積增大，如此再下降、隨氣流再上升，經多次上、下循環後，冰球體積逐漸大到氣流無法負荷時，則冰球下降成為冰雹。

冰雹對農作物的傷害多屬於物理的撞擊，隨冰球的體積大小(約5mm至50mm)而傷害程度不同，農業操作上似乎也只有以遮蔽的方式來防止災害，亦即在氣象預報將發生氣候不穩定，或雷陣大雨(甚至龍捲風)可能發生冰雹時，給予農作物適當的遮蔽或可防止災害的發生。惟事實上，冰雹的發生多屬於"小區域性"的，發生時節也短暫，氣象預報不容易，農民預防措施更有困難，冰雹災害的預防以目前而言並不易達成。

三、高溫災害

由於高溫災害的發生情況及是否造成災害目前並未列於常規正式調察及記錄，因此無法由正式報告中得知臺灣地區高溫災害的發生歷史或記錄。但由每年皆發生多次高於35℃的氣象記錄推測，應也有若干作物受損的情事發生，或許未達'災害'程度而未受重視(曾等，1984)。惟正如在本章他處所提到的，在全球氣候變遷溫度可能逐漸上升的趨勢下，迫切需要加強對高溫災害的調查統計與研究。

四、未來溫度栽災害發生的趨勢

〝全球氣候變遷〞可能是最能影響未來溫度災害發生頻度及強度的自然因素，依目前的推測臺灣地區至西元2050年氣溫可能升高3-4 ℃ ，且是全年皆可能升高(吳，1996)。依此推測，臺灣地區每年高溫的頻度也可能提高，尤其本省5至11月正值本省重要經濟作物的主要栽培期，作物高溫熱害發生的可能性極需要加以評估。

以1950年至1990年共40年間每年最高與最低溫的變化趨勢加以分析，可得到如圖二的趨勢(臺灣大學作物生理研究室姚銘輝先生整理)。以最高溫而言，台中、台北地區溫度皆在足以造成一般作物高溫障礙的35℃以上。至於臺灣其他地區的變化趨勢有待進一步統計分析。就年度最低溫度而言，恆春地區始終在10℃以上，且趨勢平穩。其他地區則呈上升的趨勢，惟仍在10℃的可能寒害溫度以下。

表面上看，臺灣地區受全球氣候變遷影響氣溫可能上升，似乎寒(霜)害發生的機會可能減少，但是全球氣候變遷的另一特徵是大氣熱平衡與氣候調節的功能改變，所謂'異常氣候'發生的機會也增加。以日本為例，近年寒冬、冷夏、與豪雪的頻率似乎增加，推測未來異常低溫發生的頻率及強度也可能提高(朝倉，1990)。如果這亦是臺灣地區未來的趨勢，則可能寒(霜)害發生的機率也可能增加矣。

平時地球氣候循環自有其短期與長期的週期性，吾人可以數學模擬予以推測，惟一旦此循環受溫室氣體大量產生、雨林過度開發等干擾，大氣平衡與調節功能破壞，則異常氣候的發生難以預測，溫度極端改變最容易導致災害(朝倉，1990)。臺灣目前已展開本身氣候變遷的研究，對異常氣候的探討更不可輕忽。

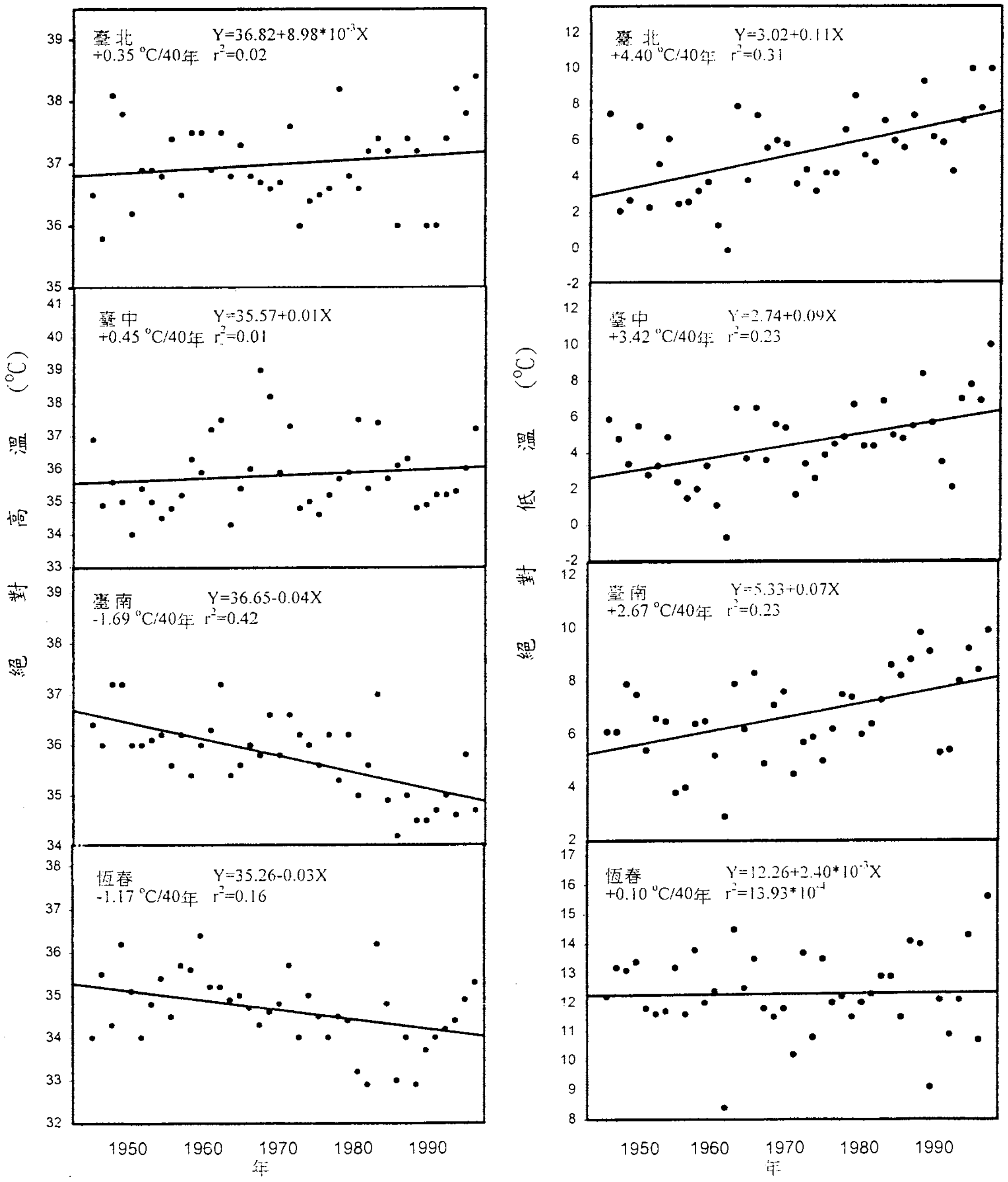
伍、因應策略

減少農業氣象災害其因應的策略可分為災前的預防及災後的補救二方面。這種由氣象突然改變所產生的災害，除了少數災害有脈可尋，事前加以防範外，絕大多數的災害要事先預防實在不易。災後的補救或多或少可以減少一些損失。

根據臺灣地區農業氣象資源應用研究研討會(1989)指出，本省常見之四大災變天氣--寒潮、梅雨、颱風、旱害均足以造成嚴重的農業災害。雖然已能掌握天氣之短期動態並及時告知農民，但由於災害的發生頻率不高，農民心存僥倖或無防災成本觀念未積極謀求對策，因此對於災害預防工作必須加強宣導。

一、旱害與水害

由於地球大氣環境之自然變遷及天災(水、旱害)之無法避免，因此有關因應之道可從作物栽培管理系統之改進，及尋求能適應不良環境之農作物品種，與增強種原庫。綜合旱害與水害防治之因應策略，大致包括下列：



圖二　台北、台中、台南與恆春地區1950年至1990年間之年度最高(左)與最低(右)溫變化趨勢。(資料來源：臺灣大學農藝系作物生理研究室)

1. 改進灌溉制度與系統：針對各種臺灣現行栽培之農作物，進行水分利用效率調查，以便在適當的需水時期灌溉提高水分利用效率，節省水資源。考慮以滴灌、噴灌方式取代溝灌，並防止灌溉水路之漏水現象。例如茶樹栽培為防範旱害及節省水源可採用低壓省水灌溉，即於等高坡地以PE穿孔管灌溉，使成帶狀溼潤，可節省灌溉成本及水量。此外於豪雨前後清理排水系統，排除堵塞物以利積水早日退去。
2. 發展新的作物品種及建立種原庫：積極尋找具有適應水分逆境(旱害及水害)之農作物種原，可自國內外搜集具有適應力之物種種原。一方面可供作研究逆境抗性機制，亦可朝向抗性基因篩選及轉殖，使本地農作物增加適應水分逆境之能力。此外，包括增加抗倒伏水稻品種以減輕傾斜倒伏浸水，均有助於抗逆境。
3. 調節栽培制度：首先確立臺灣各地區年中四季之經常性雨量、溼度、日照等氣候條件，配合經常發生之梅雨季及颱風等雨水過多時期，以及枯水期。盡量依作物耐旱與耐淹特性調節栽培制度。例如水稻生育初期遭豪雨浸水為害應儘快排水，並酌施肥料以恢復水稻生長。為防範旱害可在幼穗分化形成及抽穗開花期保持適度水深，其餘各時期不灌溉或淺水輪灌。
4. 調節收穫時期：例如玉米生育期間於雨季颱風來前再培土一次，以防倒伏。雨後淺耕一次促根系發育減輕枯死。此外亦可考慮高畦播種。於颱風警報或豪雨預報發佈之後儘早搶收，減少損失倒伏於田間，儘速排乾田間積水以免引起穗上發芽。例如高粱栽培時應避開梅雨季收穫，宜調整春作高粱播種期使收穫時期提早至5月上旬或延至6月中旬。
5. 加強預警系統之建立：颱風雨季應隨時注意氣象預報，於颱風雨季來臨前夕勿播種。

二、風害

(一)颱風

1. 災前的預防措施(農林廳，1995)
   - (1)廣泛收集颱風資料，注意颱風動態，迅速建立正確的颱風警訊，提高農民對颱風的認識，並建立完善預警制度。
   - (2)由於颱風來襲，挾帶大量雨水、強風，低窪地區或農地應先排水。
   - (3)排水不良的溝渠應先清除，確保排水暢通。
   - (4)遇到一些可收穫的作物，儘早搶收，以減少損失。
   - (5)旱田作物、高莖作物在颱風來襲前宜再行培土一次，以防倒伏。果樹則需修剪樹枝或樹立支柱。蔬菜、瓜類於植株上方覆蓋紗網，可收預防效果。
2. 災後的補救措施(農林廳，1995)
   - (1)颱風過後，應儘速排除田間積水，倒伏的植株立刻扶正，使其恢復生長。
   - (2)嚴重時，應予廢耕，重新整地耕種。
   - (3)折斷果樹枝條立刻清除。
   - (4)必要時增施肥料，以利作物生長。
   - (5)一些作物，如甘藷，排水後三天內即行中耕，使畦間土壤鬆軟。
   - (6)可收穫的作物應立刻採收。
   - (7)加強病蟲害防治工作，預防病蟲害的發生及蔓延。

(二)季節風

1. 事前的預防措施
   - (1)季節風導致的風害以東北、北、西北向比例較高，田間北向種植防風林預防。
   - (2)設置防風網亦有相當的效果，或設置防風牆。
   - (3)選擇抗風性強的作物及品種。
   - (4)避免種植高莖作物，如玉米、高粱。
   - (5)利用抗風栽培，厚播、密植、氮肥多施會使作物徒長不耐風，應多施鉀肥，矽酸肥料。
   - (6)選擇抗風較強的果樹，加強抗風栽培，如降低株高，稍微密植，降低側枝與主幹之分歧點。
   - (7)調整栽培時序，或分成數次種植，以

分散風險。

2.災後補救措施

(1)受風害折斷的枝條、落葉及早清除。

(2)利用噴灑淡水，洗去作物體上附著的鹽分，可以防止鹽風害，但要及早實施。

(三)焚風

1.事前預防措施(鄭，1997)

(1)在焚風容易發生地區，利用防風設備，減少蒸散作用，可以相當程度減少焚風害，其中以防風林效果最好(真木，1997)，或設置防風網。

(2)焚風來襲前可噴水、灌溉，降低溫度，減少高溫的傷害。

2.災後補救措施

(1)田間灌水，以降低溫度，減輕災害。

(2)果園、茶樹噴灑水，以降低溫度。

(3)受害的枝條儘速修剪，以促進新的枝條生長，受害的茶芽應立刻剪除，促進新芽的生長。

三、溫度災害

作物的溫度災害，尤其寒(霜)害是臺灣地區長久以來經常發生的氣候災害。在現行日漸精準的氣象預報技術下，寒潮來臨時農業氣象預報單位多會發佈警示，農民大多也可適時的預作保護措施。倒是全球氣候變遷的趨勢下，臺灣地區的氣候變遷是否會改變「極端溫度」的發生頻率與強度？值得深加研究。

一般熱帶或亞熱帶原產地之作物可經一些栽培管理措施而降低耐低溫傷害之發生，不但可擴大種植地區和時期，且可降低因低溫季節造成之傷害，生長抑制，和產量之降低。而一些收穫後之園藝產品必須低溫冷藏，而由於低溫下可抑制老化、呼吸作用、成熟期間以及一些代謝作用造成之敗壞(decay)，而維持在貯藏和運送期間較高之品質，但低溫貯藏如處理欠妥或因對低溫敏感之作物受傷，造成很大之損失，因此必須適當之措施，和技術之改進，才能解決或降低因低溫造成之損失，達到維持高產量、高品質之最佳利益。

(1)適當田區之選擇

栽培作物時，可選擇適當之區域和地點，盡量降低低溫發生之機會，例如向陽的山坡比背陰的區域可接受較多之陽光，在寒冷季節造成低溫傷害之機會可減少。又水可穩定氣溫之變化，因此在靠近湖泊或海灣區域，氣溫多穩定，為作物栽培和生產較佳之所在。

(2)灌溉

利用灌溉措施，供給土壤充分之水分，亦可使土壤保持較穩定之溫度，讓作物根部不易受到冷害，而水稻在幼苗期提高田區湛水之高度，在寒流來時，不但可保護根部，亦可減輕地上部因低溫所造成之傷害，噴灑灌溉亦有避免霜害之功效。

(3)覆蓋物之利用

利用覆蓋物，蔽蓋田區之土壤，冬季可防止土壤溫度之散失，亦可保持土壤之濕潤，抑制雜草的生長，山坡地上可減輕土壤沖蝕，且有水土保持之功效。覆蓋物可用腐解後之稻草、作物莖稈、樹枝等，尚可增加土壤之有機質，減少化肥之使用。塑膠布已普遍使用於覆蓋土壤，但應注意回收問題，如成本許可應鼓勵使用可分解之改良塑膠覆蓋物。

(4)設立防寒設備

利用玻璃或塑膠布建造大型溫室或小型的覆蓋床、覆蓋帽、覆蓋隧道等都可應用於大規模經濟作物生產之用，可延長作物生長期間，減輕低溫造成之傷害，本省高經濟之作物如花卉、蔬菜等，已普遍應用。

(5)改善空氣之對流

在寂靜和晴朗之夜晚，高於地面15 - 20公尺左右之氣溫往往較地面之溫度高約2℃，因此使空氣流動混合則可增加作物周圍之溫度，對霜害或低溫之防止，頗有效果；可利用風扇鼓動空氣對流，確能發揮防冷害之作用，惟設備成本較高，且消耗能源，花費頗大，僅大規模企業化經營之

高經濟作物方可應用。

(6)溫度處理或預措

在臨界低溫前利用稍微高之溫度預先處理，則可提高對低溫之耐性，例如番茄幼苗在12.5℃生長3小時以上，則較未處理對1℃有較佳之耐性；甜椒預先處理10℃ 5天或10天，可減輕在0℃時之冷害；葡萄柚先預措10或15℃ 7天，可顯著降低貯存在0℃或1℃時之冷害；其他類似的成果可應用於檸檬、胡瓜、茄子、南瓜、木瓜等，詳見Wang (1990)的報告。此種溫度預措造成生理反應增加非飽和脂肪酸，醣類和澱粉之含量，減少植株代謝物或電解質之滲出量等，皆顯示對耐冷性有正面的助益。

(7)施用化學物

一些化學物處理可減少果實低溫儲藏所造成之傷害。已有很多報告顯示鈣離子可降低冷害。例如利用真空透過方法處理使1-5%鈣離子透入酪梨，可降低隨後低溫貯藏的傷害，蘋果用鈣離子處理亦有相似的優點。桃或秋葵亦可因鈣離子之前處理，達到減輕低溫貯藏的冷害之效果。但某些研究顯示，鈣離子處理對冷害之減輕並無減輕效果，如葡萄柚、番茄、木瓜等都有失敗的例子。因為鈣離子之效果可能因果實之種類、使用之濃度而對耐冷有不同之效果(Wang，1990)。一些抗氧化劑(antioxidant)或自由基之清除劑(free radical scavenger)可減輕冷害之程度，如ethoxyquin或sodium benzoate處理對蘋果和梨可減輕因低溫造成之傷害。一般化學物之處理對冷害之耐性改變，因作物之種類、使用時之化學劑狀況、施用濃度等可能有不同程度之效果，且種類繁多，Wang (1990)有詳細之敘述，現將其重要者及最近的研究成果整理列於表八。

表八 主要化學劑對作物耐冷性之增強

化學物	生理特性	作物種類
鈣離子	增加膜之穩定性	酪梨、蘋果、桃、秋葵
Ethoxyquin, Sadium benzoate	抗氧化劑、自由基清除劑	蘋果、胡瓜、甜椒、梨
Tricizole uniconazole	phospholipid	番茄幼苗
Ethanolamine Choline chloride	改變膜上 phospholipid 組成	番茄幼苗、胡瓜幼苗
Dimethylpolysiloxane 紅花油(sufflower oil) 礦物油 抗蒸散劑(antitranspiants)	減低水分散失	香蕉、葡萄柚、棉花幼苗
Mefluidide		玉米、水稻、番茄

(資料來源：Wang, 1990)

在低溫情況下，各種植物荷爾蒙間之平衡或量之變化和植物對環境之逆境反應有密切之關係。植物荷爾蒙中，離層酸、乙烯，其他可能之荷爾蒙如多元胺、Jasmonate和低溫逆境之調節影響最大。其他荷爾蒙如Auxin、GAs在某些研究結果中，亦能顯示對耐冷性之改變。此處必須強調，有關植物荷爾蒙之研究以及其對耐冷性效果之評估，可能因實際環境、作物種類、施用濃度、施用方法和時間等相關因素而有不同

之效果。因此在從事此方面之研究時，必須在一系列精密而周全的試驗後，再作結論較為妥當。現將植物荷爾蒙對作物耐冷性之調節有關效果列表九如下，供有關研究之參考。

表九　植物荷爾蒙處理對作物耐冷性之調節

植物荷爾蒙	生理作用	作物種類
Auxins	增加3'-5'-cyclic AMP含量，維持膜穩定性	高粱幼苗
增加ABA/GA	維持水分平衡	桃之花芽
乙烯	增加耐冷性	洋香瓜、酪梨、葡萄柚
Polyamine	穩定膜，增加耐冷性	Zucchini squash、菜豆、柑橘、水稻幼苗、小麥、苜蓿
ABA	維持水分平衡，降低冷害癥狀	葡萄柚、番茄幼苗、棉花幼苗、水稻、玉米幼苗
Jasmonate	維持水分平衡	水稻幼苗

(資料來源：Wang , 1990)

四、其他的因應策略

(一)研究方向

1.應加強對臺灣在氣候變遷下氣象災害發生趨勢方面的研究，由預估模擬研究中，推測出未來臺灣地區氣象災害發生的區域、頻度與強度等，以提供農政單位進行作物安全栽培區與安全栽培期的規劃。

2.應加強對作氣象災害的研究，包括氣象災害發生的原因、作物對各種災害的反應。例如過去本省對作物溫度災害的研究多集中於寒(霜)害，甚少進行作物高溫傷害之探討。惟在臺灣氣候變遷的預估中，至西元2050年可能上升3至4℃，導致每年作物不適溫度(氣溫35℃以上)發生的可能性增加。此趨勢是否會造成作物高溫熱害，需要立即加以評估。近年來美、日分別加強對小麥、玉米、水稻等主要作物高溫(35℃以上)傷害的研究，即是例證 (Blum, 1988; Matsui *et al.*, 1997)。

(二)檢討各作物的安全栽培期與栽培區域

中央氣象局過去曾依氣候災害發生的頻度與區域，作過類似的規劃(曾等，1984, 1986)。但至今作物的種類尤其是園藝作物已有相當的改變，應再評估與規劃各項作物的安全栽培期與安全栽培區域，提供農民參考。在未來氣候變遷下，此重新檢討的工作，尤其重要。

(三)育種改良

改善作物對於氣象災害所引起之逆境抗性是降低氣象災害最基本的方法之一。對氣候變遷這種逐漸式的氣象改變，育種改良則有相當成功的潛力。但需注意育種手段的改進程度是漸進的，也是有限的，對極端逆境仍無法克服。

作物因基因型(genotype)不同對逆境之敏感程度則有很大之差異，因此在育種上改進對逆境之適應性上有很大的空間，例如品種來自高海拔或高緯度之親緣對低溫則較不敏感而有較高之耐性。檢定和尋求及分離某些對低溫有抗性之基因，導入不耐低溫之品系內，可改進作物品種對低溫之耐性。傳統

之育種程序與遺傳工程之技術相互配合當可育成耐逆境之品種，為改進逆境耐性之最佳途徑。例如臺灣之水稻育種選拔中，已將幼苗期之耐冷性列為選拔項目之一，且得到良好之成效。除水稻外，其他作物有番茄、棉花、玉米、高粱、胡瓜、大豆、香蕉、酪梨等品種間對低溫之敏感性亦有很大的差異。許多作物已用育種方法可改進其對低溫之適應性，如番茄、玉米、胡瓜等。但是在育種工作上由於低溫敏感性是由一群基因控制，不易一次全部轉移這些基因，技術上相當困難。另外一個困擾的問題是一些主要作物沒有可增加耐低溫性之互補系(compatible line)。遺傳工程是另一個可將耐性基因導入較敏感之品種可能技術，如可增進轉移技術和成功之基因表現，是今後努力之方向(Blum,1988; Patterson and Reid, 1990)。於此建議育種策略為：

1.由現有國內外品種中直接進行選種

亦即由現行國內外的品種變異中，選拔具有逆境耐性強的品種，此手段的速度較快。

2. 儘早實施雜交(甚至生物技術)育種計畫，引進更佳的抗性變異

長期而言，需要實施完整的育種計畫，以耐性種源收集、雜交，甚至基因工程等方法創造更大的抗性基因組合，並能持續的改良耐性。由於各種逆境的發生有其地域性，需評估「區域性選拔育種」的必要性。

(四)組成合作團隊

以策略而言，此點可能是最重要的，上述任何一項方式皆非單一研究單位來達成。若再考慮「氣候變遷」因子，則參與的科技層面更廣，主其事者應儘早規劃合作密切、有工作能力與效力的工作團隊，來執行各項策略，始能有成功的可能。一如全球氣候變遷是整體性的，吾人的因應對策與執行也必需是整體性的。

陸、結　　語

自然災害是一種無法避免的災害，但是如何減少災害所帶來的損失則是可行的。減少災害的發生，分為事前的預防與事後的補救二方面。事前的預防有賴於氣象資訊之收集、分析、研判及推測。由本省過去四十多年來的氣象資料，目前大概可以預測一些自然災害的發生時間、頻度及強度，但其準確度尚不足，其原因主要係過去農業氣象資料收集有限，且儀器設備有限，誤差較大。目前電子儀器發展迅速，一些預測儀器應運而生，氣象單位應有計劃地利用精密儀器預測，收集氣象資料並能迅速發佈，加強農民對異常氣象變化的警覺性。農政單位對即將來臨之氣象災害宜提出適當的預防措施，以減少農民的損失。

解決農業氣象災害之策略除了要有事前預防外，事後補救工作亦相當重要，以使災害所帶來的損失減至最低。短期而言，應成立災害小組，集合當地農民力量搶救作物。長期而言，應協助農民重建農地，補助各種救災貸款，使能早日恢復農作物之生產力。當然，耐性作物之培育、作物適時適地栽培、興建各種栽培防災設施及維護措施於平時即應積極進行。由於作物生產力取決於良好之生長環境，換言之良好之氣候為首要條件，災害性氣候對作物只有造成傷害。目前全球氣候變遷中，災害性天氣之發生時有所聞，不但對人類生活帶來極大災難，對作物生長亦帶來極大的損失，因此在探討全球氣候變遷時，對災害性天氣所帶來之問題必須加以正視，往往短暫性災變會帶給人們無限的災難。

柒、引用文獻

臺灣省政府農林廳. 1995. 農藝作物損失率基準參考手冊. 臺灣省政府農林廳. 南投.

臺灣農業年報. 1983-1996. 臺灣省政府農林

廳. 台中臺灣.

臺灣農業年報. 1997. 臺灣省政府農林廳. 台中臺灣.

朱鈞. 1997. 作物冷害時之生理反應. 果樹天然災害預防及復育手冊. p.1-26. 臺灣省台中區農業改良場特刊第39號. 台中區農業改良場. 彰化.

李炳和. 1996. 臺灣地區農作物風害與其因應對策略之建議. 臺灣農業32：37-47.

李超運. 1995. 氣象因子對花蓮地區八十三年第二期作水稻生育與產量之影響. 中華農業氣象2：129-134.

林孟輝　張學琨. 1996. 北部沿海地區季節風對水稻產量及品質之影響. p.298-312. 楊純明主編. 農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施. 臺灣省農業試驗所出版, 台中縣霧峰鄉.

林孟輝　黃振增　陳素娥　林芳洲　張學琨. 1995. 桃園地區81年第二期作水稻在氣象因子影響下減產原因. 中華農業氣象2：85-91。

吳明進. 1996. 氣候變遷對臺灣氣候之影響. 氣候變遷衝擊評估與因應策略建議研討會論文集. p.1-19. 國立臺灣大學全球變遷研究中心, 行政院環境保護署, 中華民國地球科學學會編印. 台北.

邱禮弘　林國榮　黃政林. 1991. 台東地區焚風形成及其對果樹之影響. 台東改良場研究彙刊27：56-67.

真木太一. 1995. 農業氣象災害特別是風害及其防止法. 中華農業氣象2：135-147.

曾文柄　朱鈞　楊之遠. 1986. 氣象因素對臺灣地區農作安全栽培期限影響之研究. 氣象學報32：44-48。

曾文柄　朱鈞　郭文鑠　楊之遠. 1984. 臺灣地區農業氣候資源應用之研究. 中央氣象局編印. 台北市.

朝倉 正. 1990. 異常氣象與環境破壞. 讀賣科學選書31. 讀賣新聞社.

郭文鑠. 1980. 臺灣農業氣候區域觀測. p.1-54. 中央氣象局編印, 台北市.

郭文鑠　楊之遠. 1982. 颱風誘發焚風現象及其對農作物之影響. 氣象學報8：1-12.

楊之遠　張鏡湖. 1989. 臺灣地區農業氣象災害之探討. p.349-366. 臺灣地區農業氣象資料應用研討會專輯. 交通部中央氣象局. 行政院農業委會. 臺灣省政府農林廳編印. 台北, 台中.

楊之遠. 1979. 臺灣地區霜日頻度與霜期分析及其在農作物霜害預防之應用. 氣象學報25：11-18。

鄭混元. 1997. 焚風對茶樹芽葉生育及製茶品質的影響. 中華農業氣象4：69-80.

Blum, A. 1988. Plant breeding for stress environment. CRC Press, Inc. Florida, U. S.A.

Matsui T., O. Kenji and T. Horie. 1997. High temperature-induced spikelet sterility of Japonica rice at flowering in relation to air temperature, humidity and wind velocity conditions. Jpn. J. Crop Sci. 66：449-455.

Patterson B. D. and M. S. Reid. 1990. Genetic and environmental influences on the expression of chilling injury. p.270. *In*: Wang, C.Y. (ed.) Chilling Injury of Horticultural Crops. CRC Press. Boca Raton, Florida. U.S.A.

Wang C. Y. (1990) Alleviation of chilling injury of horticulture crops. p.281. *In*: Wang, C. Y.(ed.) Chilling Injury of Horticultural Crops. CRC Press, Boca Raton Florida, USA.

Chapter 6 Effects of Meteorological Disaster on Crop Production in Taiwan and Prevention Strategy Against the Changing Agrometeorological Environments

Huu-Sheng Lur and Chun Chu,
Department of Agronomy, National Taiwan University
Ching-Yuh Wang and The-Ming Chu
Department of Agronomy, National Chung-Hsing University

ABSTRACT

The objectives of this chapter were firstly to review the occurrence with respect to frequency, area, and the degrees for the most serious meteorological disaster, and secondly to propose strategies for reducing or even preventing the losses in crop production. In reviewing the damages from the past 40 years, the severity of crop losses caused by agricultural meteorological disaster was typhoon, flooding, drought and low temperature in order. Typhoon almost attacks Taiwan area every year and accounts for more than 70% of the total climate damages. Under the trends of global climate changing, it is necessary to evaluate the tendency of the occurrence of these disasters at our area in the near future. Furthermore, strengthening the research teamwork, establishing warning system, planning safety cultivation period and area for cropping, and constructing strategy for reducing climate damages should be a main target at present, and in the future as well.

Key words : Flooding stress, Drought stresss, Typhoon, Chilling stress, High temperature stress, Prevention strategy.

氣候變遷對農作物生產之影響
第7章　全球氣候變遷對臺灣地區設施栽培
的影響與因應策略 109-119, 1998

第七章　全球氣候變遷對台灣地區設施栽培的影響與因應策略

中　　雍
國立中興大學土壤環境科學系
陳　隆　鐘
國立中興大學植物病蟲害學系

摘要……110
壹、前言……110
貳、臺灣地區設施栽培現況……111
參、設施內微氣象環境預測……112
肆、作物生育關係……112
伍、理想被覆資材特性……113
陸、因應策略……114
柒、結語……115
捌、引用文獻……115
英文摘要……119

第七章 全球氣候變遷對台灣地區設施栽培的影響與因應策略

申 雍
國立中興大學土壤環境科學系
陳 隆 鐘
國立中興大學植物病蟲害學系

摘 要

受全球氣候變遷影響，台灣地區農業生產受到氣候因素影響所導致的不安定性將增加，因此必需利用設施栽培技術，以達到穩定農業生產、提高產品品質的目的。使用設施雖可保護作物免於遭受雨打、酸雨、寒害、紫外線等之危害，但是設施內作物生長的微環境卻也因而產生新的限制因子，其中以熱逆境、土壤鹽化、病蟲害蔓延速度較露地快等最為嚴重。為舒解熱逆境，可由選擇適當的被覆資材配合設施通風設計、以及設法降低根溫等方向著手；為避免土壤鹽化，應建立設施內使用的施肥技術和灌溉排水技術；為減少病蟲害的發生與蔓延速度，應開發生物防治技術與堆肥施用技術，以減少農藥施用及殘留的問題。

關鍵詞：氣候變遷、設施栽培、熱逆境、病蟲害、被覆資材、降溫措施。

壹、前 言

設施栽培原是溫帶地區，因冬季低溫與日照不足，但為達成栽培需要，乃利用防寒、加溫、取光等設施所發展的生產技術，近來更配合環境自動控制技術的發展，使其構造與功能日趨完備，已成為溫帶地區一種重要的園藝作物生產技術(Hanan *et al.*, 1978；張，1987；沈，1987)。台灣處於亞熱帶地區，低溫和日照不足並非主要的生產限制因子，但因臺灣地處大陸與海洋的交界且地形複雜，春季的梅雨、夏季的颱風與熱雷雨、冬季的寒流、以及高濕和日夜溫差小的海洋性氣候，都可使作物生長不良，且產品品質顯著劣化(楊，1995)。從民國七十六年度起，行政院農業委員會即推動設施栽培技術之開發，並將「設施園藝技術之研究開發」列為國家級研究計畫之一，期望能達到穩定生產、提高品質、調節產期及節省勞力之多重目的(林及李，1987)。

利用設施栽培作物與在露地栽種，最大之不同就在於有一層設施覆蓋物改變了作物週遭的微域氣象環境。其中最顯著的兩項改變為(一)由於受到樑柱遮光與被覆物對日射之反射和吸收的影響，設施內的日射量通常較露地為低；(二)由於設施覆蓋物的隔絕，因此設施內外的空氣交換比露地差，熱量容易累積於設施內，造成設施內氣溫和土溫顯

著升高；且大部份設施內僅有自然對流存在，因此水平和垂直方向溫度分佈不均的現象極為明顯(徐等，1992a，b；黃等，1997)。夏季日射強烈時，設施內常產生40～50℃以上的高溫，此種不利作物生長的熱逆境，將導致作物生長不良、品質劣化的問題(翁，1994；蔡等，1996；郭等，1997)。由於目前發展成熟的設施栽培的覆蓋材質多以溫帶地區冷涼氣候為本，主要偏重於節省加熱所需能源和保溫的功能，並不適合台灣地區的氣候環境；且目前設施栽培常用的降溫技術，係犧牲對其它栽培環境條件之要求，因此並不能達到依據作物生育需求特性而調控環境的目的(中與余，1997a)。

依據全球氣候變遷的研究，預測臺灣地區氣候除氣溫、二氧化碳濃度、和紫外線量都會增加外，發生酸雨和豪大雨等不利生產之氣象環境的機率亦將增加(楊，1994；柳等，1994)。為達穩定農業生產及提高農產品品質，以提升本土農業競爭力之目的，更須普遍的依靠人工設施以調節和保護作物的生產環境，因此未來設施栽培技術之應用當較目前更為普遍。以下先分別就台灣地區設施栽培現況和易受全球氣候變遷影響之處予以分析，並提出因應策略，以供規劃未來研究重點方向之參考。

貳、臺灣地區設施栽培現況

目前臺灣地區設施栽培使用之結構物可分為兩大類，(一)以保溫或防雨為目的的簡易塑膠棚和紗網棚，(二)具有降低設施內氣溫能力的較精密溫室，其中第一類型的設施，又可再細分為不可入內操作的直接覆蓋或低架隧道，和可入內操作的水平棚架或高架隧道等細類(林及侯，1987；郭，1993；陳，1997)。第一類型設施的結構強度並不足以承受強風的破壞，且沒有調控設施內微氣候環境的能力；採用高架溫網室設計者，四週尼龍網的阻風效應仍將導致設施內通風不良(高等，1989；蔡等，1996)，即使採用高架紗網設計，夏季設施內平均氣溫仍可較露地高出2～5℃(蔡等，1996)。因之，夏季設施內氣溫高、濕度大，導致作物承受的熱逆境大，多以種植短期採收的蔬菜為主，也有少部份的花卉使用。由於該類型設施的硬體投資較少，投入的成本易回收，是目前使用最廣的設施栽培類型，其中北部地區為達冬季保溫之目的，多採用簡易塑膠棚之設施，中南部地區則多以防雨為主要目的，因此以採用高架紗網棚之設施為主。第二類型的設施通常備有通風窗和遮陰網，有些設施甚至配有抽風扇、水牆、噴霧等降溫設備(張，1989)，因此夏季時具有調降設施內氣溫的能力。本類型設施的結構強度通常可以承受較強的風，但因所需的硬體投資很大，僅適用於具高經濟價值的作物，如台糖公司的蝴蝶蘭(黃等，1992)。在各式降溫設備中，雖然水牆和噴霧設備可以將設施內氣溫降至外氣溫下，但由經濟效益和舒緩作物熱逆境的效能考量，遮陰網仍是最為普遍使用的降溫措施，但遮陰網會顯著降低設施內的可見光量，因而限制了可栽種作物種類的選擇。

設施內作物的種植方式一般可分為土耕和養液栽培兩大類，但仍以土耕方式栽培作物最為普遍。由於設施內缺乏雨水淋洗，且土表與葉面的蒸發散量因溫度高而增多，導致土壤深層排水減少，所施用的肥料不易被淋失。且土壤中的鹽類物質易隨毛管水上升而累積於土壤表層，影響種子發芽、根系發育及養份和水份吸收，進而降低產量與品質(陳，1992；王及譚，1992)。此外，由於設施之保護，設施內經年密集耕作的結果，應該也會導致土壤理化性質之劣變(相馬，1985a，b)，唯國內仍缺乏相關之資料。在養液栽培方面，對於水耕栽培系統之改進和養液配方的研究已有很多(陳，1989；高等，1989；李等，1989；Ota and Wu，1989；吳及王，1991；Shen *et al.*, 1994)，唯設施內的熱逆境極易造

成養份吸收的不平衡與生理障礙，如硝酸態氮過多、微量元素之缺乏或毒害、……等可嚴重影響作物的產量與品質(林等，1992；王及吳，1992)。

設施栽培並無法完全去除病蟲害，設施內微氣象條件雖與露地不同，但環境與生態相亦隨之變化，故設施內仍有其適合發生的病蟲害存在。由於被覆資材的隔絕，蟲害發生時期較露地略晚，害蟲種類也較露地栽培為少，以較小型的害蟲為主要種類，如薊馬、介殼蟲、蚜蟲、粉蝨、潛蠅及葉蟎等(羅，1987)。設施內常見病害種類包括立枯病、腐霉病、軟腐病、根瘤線蟲、萎凋病、露菌病、黑腐病、炭疽病、白銹病、及黑斑或葉斑病等，然由於長期連作的關係，導致土壤傳播性病害普遍發生，以*Rhizoctonia* spp.與*Pythium* spp.所引起之病害最為嚴重，空氣傳播性病害則以露菌病較嚴重，但設施對雨水傳播性病害的防治則有較顯著效果(林，1987；王等，1993)。由於設施內生態環境單純，一旦發生病蟲害，不僅增殖和蔓延速度較露地為快，尤其一些水生病原菌更會隨養液的循環迅速擴及所有的作物(林，1990；王，1992)。長期大量使用農藥以控制病蟲害的發生，將由於具抗藥性菌系的增殖，使得藥劑的防治效果逐漸降低(陳等，1996；Shatla and Sinclair，1963；Ogawa *et al.*，1983；Ueyama *et al.*，1990)。

參、設施內微氣象環境預測

氣溫上升、二氧化碳濃度提高、和紫外線增多是全球氣候變遷目前已知的變化趨勢，以下分別探討設施內重要微氣象環境因子的可能相對變化。

設施內累積的日射能量可以經由設施內外換氣、透過設施壁面、和流入土壤等方式而減少(Businger, 1966；Hanan *et al.*, 1978；王，1988)。當外界溫度上升，因設施內外溫差減小，此三種方式所能排出的熱量都將減少，設施內累積的熱量隨之增多。由於受全球氣候變遷影響，台灣地區氣溫夏季上升幅度大，冬季較小(吳，1992；柳等，1994)，可預期夏季設施內白天高溫逆境將更加嚴重，持續時間也將延長。

臺灣地區相對濕度長期變化的趨勢指出，空氣中的相對濕度逐漸下降(廖，1998)，設施白天溫度升高，將使得設施內之相對濕度更為降低(Monteith and Unsworth, 1990)。受到溫度上升和相對濕度降低的雙重影響下，日間葉片的蒸散作用與土壤的蒸發作用將較目前增強，倘若由蒸發、蒸散作用所釋出的大量水蒸氣不能及時排出設施外，當夜間溫度下降後，設施內露水凝結的情形將較目前嚴重(Hanan *et al.*, 1978；Rosenberg *et al.*, 1983)。因此可推測一天中設施內的乾濕變化範圍將較目前為大。

由於覆蓋物的阻隔，若無抽風扇等換氣設備，由於設施內外的空氣交換不良，白天設施內的二氧化碳濃度會因光合作用消耗而顯著低於室外大氣中的濃度(Goldsberry and Holley, 1962；王，1988)。因此，設施內作物的生長是否能充份享受全球氣候變遷二氧化碳濃度升高的益處，端視設施的通風程度而定，所以未來設施栽培的構架設計與所使用的被覆材質，應確保能順利通風換氣，則不僅能維持設施內的二氧化碳濃度不致下降太多，同時也有利於排除設施內累積的熱量。

紫外線增多對設施內作物的影響不大。目前科技已可於被覆資材內添加紫外線吸收劑，以降低設施內的紫外光量，有些被覆材料已可完全濾除紫外光(Walker and Slack, 1970；郭及吳，1989；楊等，1997)。

肆、作物生育關係

熱逆境仍將是未來利用設施栽培所面臨的最大問題。對熱逆境下水耕小白菜的

研究指出，目前設施內的高溫雖還不至於影響葉片的捕光色素系統，但光合作用效率已因葉片氣孔開度減小，使得CO_2的進入受到阻礙而降低，再加上高溫所導致呼吸作用的過度消耗，已導致淨光合成量的減少(申及余，1997b)。處於熱逆境下之百合亦有相同的生理反應(Sorrentino *et al.*, 1997)。全球氣候變遷將導致氣溫升高，即使不論葉溫是否會升高至破壞葉片捕光色素系統的程度，僅因溫度升高所導致呼吸作用的過度消耗，勢必增加熱逆境的程度；此外，白天相對濕度降低，也會導致氣孔開度減小(Willmer, 1983)，亦不利於CO_2的擴散進入，將導致熱逆境的情形更為加劇。但如能因適量通風而維持設施內二氧化碳的濃度不致下降太多，則可能因光合作用效率之提高(Acock, 1990)，以及對呼吸作用的抑制(Amthor, 1997)，而略為舒緩作物所遭受的熱逆境(Idso and Idso, 1997)。

在夏季適當的降低養液溫度，使作物根系健全，使能持續供應葉片旺盛蒸散作用所需的水份，則葉溫將因蒸散冷卻作用而降低，而減輕所承受熱逆境的程度(翁，1996)。最適根溫隨作物種類而異，例如，白菜和萵苣的最適根溫約在25℃(翁，1995)，但洋香瓜的最適根溫約在30℃(蔡等，1994)。

申及林(1993)以模式估算設施內微氣象環境對小白菜葉溫之影響指出，葉溫隨日射和相對濕度上升而增加，由於以水牆或噴霧的方式降溫將使得設施內濕度提高，因此並不利於葉片之蒸散冷卻。申及余(1997a)指出如能減少進入設施內近紅外光的量，也可以有效降低葉溫，是另一舒解熱逆境的方法。

由於設施內溫度和蒸發散量提高，土壤水份向下淋洗的量更為減少，將使得目前設施內的鹽害問題更為嚴重。土壤溫度提高，也將使得有機質分解加快，土壤理化性質之劣變程度亦隨之增強。不僅會降低所栽培作物的產量和品質，也會造成連作障害。

依據對設施病蟲害發生情形調查，在葉菜類作物方面，以小菜蛾、偽菜蛾、番茄斑潛蠅及黃條葉蚤較重要，蔬菜跳蟲密度有增加趨勢，病害以軟腐病、立枯病、露菌病及病毒病較常見。在果菜類作物方面，以南黃薊馬、棉蚜、番茄斑潛蠅、茶細蟎、葉蟎、及螺旋粉蝨較重要，病害以白粉病、蔓枯病、病毒病及露菌病較常見，瓜類猝倒枯萎情形非常普遍及嚴重，但原因仍有待研明。

使用紫外線斷除型塑膠布為被覆材料，不僅可提高洋香瓜的生長勢與果實品質(楊等，1997)，也可減少設施內菜心螟、黃條葉蚤、蚜蟲、番茄夜蛾、薊馬、及蟎類之危害(郭及吳，1989)。

伍、理想被覆資材特性

到達地表的日射依其對作物的效應，可分為紫外光區(< 400 nm)、可見光區(400～700 nm)、以及近紅外光區(700～3000 nm)三個波段。其中可以被作物光合作用所利用的可見光區的能量，不及全部日射能量的一半(Stigter and Musabilha, 1982；Shen and Chen, 1992)；而佔日射總能量50%以上的近紅外光，並不能被作物光合作用所利用，但卻會轉成熱能，使得設施內的溫度升高。因此，適合台灣地區氣候環境使用的理想被覆資材應能把作物光合作用所不需的近紅外光阻擋於設施外，則設施內的溫度將不致於上升的太高，即使仍需要降溫，所需的設備投資也可大幅降低(申，1989)。此外，設施內的熱量除可藉由通風帶出設施外，亦可以長波輻射的方式釋出，因此，理想的被覆材料也應儘可能使長波輻射順利釋出。但是，Shen *et al.* (1992)對臺灣地區多間溫室所做日射穿透品質指數的測定顯示，目前設施栽培常用之被覆資材，對日射中近紅外光穿透的阻隔遠遜於對可見光的阻隔，而常見的被覆資材又多有阻擋長波輻射釋出的特性(Godbey *et al.*,

1979；王，1989)，與前述理想被覆資材的特性完全相反。此乃由於目前設施栽培所使用之覆蓋材料多由溫帶地區引入有關，因為其材質特性係依能保溫和減少加溫所需能源之目的而發展。目前科技發展已能利用金屬鍍膜技術製作可濾除近紅外光的玻璃、塑膠布等被覆材質(Frank *et al.*, 1981)，而有些透明材質(如Mylar)本身也具有濾除近紅外光的能力(Walker and Slack，1970)，應考慮輔導國內廠商生產，或由國外引進推廣。申及余(1997a)指出若使用能隔絕近紅外光的被覆資材，並搭配抽風扇換氣，其降低葉溫的效果較使用水牆降溫更好，且不影響光合作用所需的可見光量，也不致於造成設施內過濕的環境，更不會發生二氧化碳被光合作用消耗待盡的不利狀況。

光質對作物生長與型態的影響早已為人所熟知(Smith，1982)，在植物生長箱中，依據作物需求選用適當波長範圍之人工光源調節作物之生長也已被廣汎使用(Anderson，1986；Tibbits *et al.*, 1983；Hagen and Moe, 1981)。設法改變日光的光譜分佈以影響設施栽培作物的生長型態，則於近年吸引許多研究人員的注意(Mortensen *et al.*, 1987；Moe and Heins, 1990)，因為以往採用生長激素以調節莖長、側枝和開花的管理方式，將會基於對環境汙染、生產成本及殘留之負作用等因素的考量，而逐漸減少使用。如被覆資材若能配合對作物光形態發生學(photomorphogenesis)的瞭解，則可以藉被覆資材改變穿透日射的光譜分佈，改善所栽培作物的品質。

目前常被使用的尼龍紗網，雖然透氣性較其它被覆材料好，但在夏季風速微弱的時候，用其所搭設之設施內的氣溫仍較露地高出許多(蔡等，1996)，顯示僅靠自然對流並無法滿足通風換氣的需求。因此，若要達到適量通風的目的，必需依靠抽風扇進行強制對流。但若採行強制通風，則尼龍紗網將因無法控制空氣流場而不適用(Hanan *et al.*, 1978；王，1988)。依此，理想的被覆材質最好還能具有如Cortex 材質之透氣耐水的特性。

陸、因應策略

考量台灣地區發生不利農業生產之氣候的機率將因全球氣候變遷而增加，為穩定生產及提高品質以提高本土農業競爭力，設施栽培可提供作物一個較穩定的生產環境。由以上之分析，可知設施雖可提供防雨和防寒的保護，但設施內作物生長的微環境卻因而產生新的限制因子。因此，相關的研究應先以改善目前設施內的已知逆境為發展重點，以提供適當的栽培環境供園藝作物使用，具體作法分別說明如下。

一、地上部栽培環境之改善

(一)理想被覆資材的引入、測試與開發:

依據上述理想被覆資材之特性，由國外引入可濾除日射中紫外光和近紅外光的被覆材料，進行熱逆境舒解、防雨、防寒效能及耐候性等試驗；並研究不同顏色覆蓋資材對作物品質的效應。依據試驗結果，由農委會協調國內廠商開發適合的本土化被覆資材，以供推廣應用。

(二)設施構型設計:

配合所引入的理想被覆資材，以最廉價的系統運轉費用，最簡易的日常保養與維修，以及最方便的架設方式，設計可進行機械抽風的簡易溫室。

(三)栽培方法之改善：

應用不同栽培方式，也可能可以改善作物生長不良及病蟲害滋生的問題，因此栽培方法改善之探討，亦為一重要課題。

二、地下部生長環境之改善

(一)根溫降溫技術：

降低根溫已被證實具有舒緩熱逆境的效果，以水耕方式栽培可以很容易控制根溫，但如何有效降低土耕栽培時的根溫則有待研究。應用敷蓋技術可以作為開發的

起點。

㈡鹽分累積問題：

目前設施內農民的施肥法和灌溉法多延用露地栽培的習慣，需針對設施內高溫、少雨、高蒸發散的特性以及作物之需求，研發適當的施肥技術和灌溉排水技術，以避免設施內土壤發生鹽分累積的現象。

㈢連作障礙問題：

設施內密集連續耕作，不僅易導致土壤發生壓實、通氣及排水性質劣化等問題，植株殘體也易成為病蟲害的再感染來源，因此如何克服連作障礙，亦是一亟待解決的問題。

三、病蟲害防治技術

㈠蟲害問題:

應以發展生物防治技術為主，因為設施栽培因被覆資材的隔離，害蟲之發生可較露地減少許多，生物防治的對象較單純，而所施放的天敵因活動範圍被侷限，受不利氣象條件的影響小，因此應用生物防治可能較易收效，且不易有農民因施藥中毒及作物農藥殘留的問題。

㈡病害問題:

除可由建立耐病種苗篩選技術及品種手冊著手，提供健康種苗外；開發設施內相關資材的消毒殺菌技術與灌溉水源的清潔技術；以及如何利用不同農業廢棄物製成之堆肥和栽培介質，造成設施內微生物相的改變等，都是控制設施內病害與病勢的重要方法。

柒、結　　語

國內未來之農業發展將以生產高品質的農產品為主，但氣候變遷的趨勢卻將提高農業生產的不安定因素，因此設施栽培技術未來將因市場對穩定生產和提高品質的需求而日趨重要。適用於溫帶地區冷涼乾燥氣候的溫室被覆材質和管理技術，並不能完全適用於亞熱帶和熱帶地區高熱多濕的氣候環境，開發適合高熱多濕氣候環境下的被覆材質與設施栽培管理技術，除可因應國內未來農業發展之需求外，此種科技產品在亞熱帶和熱帶其它國家亦有廣大的市場與應用範圍。

捌、引用文獻

王雪香. 1992. 設施栽培蔬菜蟲害及其防治。pp. 58-91。養液栽培技術講習會專刊第四輯。

王銀波 譚鎮中. 1992. 精緻農業下大量施肥對土壤EC值及土壤中硝酸態氮含量之影響。p.23。農業資材對環境之影響研討會論文集。

王銀波 吳正宗. 1992. 水耕養液中的氮素問題。p. 15-27。養液栽培技術講習會專刊 第四輯。

王鼎盛. 1988. 設施園藝設計手冊。p. 378。臺灣大學農業工程學系。

王鼎盛. 1989. 覆蓋資材之特性及利用。第二屆設施園藝研討會專集。p. 93-108。

申雍. 1989. 設施內輻射環境的控制與管理。p.47-54。第二屆設施園藝研討會專集。

申雍 林婉貞. 1993. 設施內作物葉溫之估算模式及其應用。中華農學會報 新163: 8-17。

申雍 余淑玲. 1997a. 台灣地區溫室降溫方式的評估。中華農業氣象4:11-17。

申雍 余淑玲. 1997b. 熱逆境下水耕小白菜之光合、呼吸及蒸散作用。中華農業氣象4:81-86。

沈再發. 1987. 荷蘭之設施園藝概況。p.15-30。設施園藝研討會專集。

李美玲 張國珍 康有德. 1989. 利用養液薄膜法(NFT)栽培葉菜類。p.163-171。第二屆設施園藝研討會專集。

林正忠. 1987. 設施園藝之病害問題及其防治。p.169-172。設施園藝研討會專集。

林美霞 李金龍. 1987. 設施園藝發展方向之探討。p.185-191。設施園藝研討會專集。

林益昇. 1990. 養液栽培作物病害及其防治。p. 82-85。養液栽培技術講習會專刊第

三輯。
林學正 侯鳳舞. 1987. 國內各類設施栽培之現況介紹。p.31-42。設施園藝研討會專集。
林深林 林慧玲 李國權. 1992. 養液栽培之生理障礙。p. 44-50。養液栽培技術講習會專刊 第四輯。
吳明進. 1992. 台灣的氣候變化：氣溫與降水。大氣科學 20:295-317。
柳中明 王維強 吳明進. 1994. 台灣地區未來氣候變遷之評估。台灣地區氣候變遷因素及影響研討會。
徐森雄 鍾德月 郭同慶 王少峰. 1992a. 塑膠布溫室之微氣候研究。 I. 溫室之光環境。中華農學會報 新157:34-43。
徐森雄 鍾德月 郭同慶 王少峰. 1992b. 塑膠布溫室之微氣候研究。 II. 溫室之熱收支與溫、濕度環境。中華農學會報 新157:44-60。
高德錚 張盛添 洪財生 梁純玲. 1989. 熱帶實用化水耕栽培技術之探討～動態浮根式水耕系統之改良。p.130-147。第二屆設施園藝研討會專集。
黃東瑞 潘清樂 何逢偉 簡銘宏. 1992. 園藝作物栽培環境控制系統之研發。p. 85-88。溫室環控自動感測技術研討會專集。
黃裕益 鄭經偉 翁郁凱. 1997. 通風口覆蓋防蟲網對鋞管溫室內溫度之影響。中華農業氣象 4:35-43。
張粲如. 1987. 日本之設施園藝概況。p.1-14。設施園藝研討會專集。
張祖亮. 1989. 溫室自動化系統功能之探討。p.55-64。第二屆設施園藝研討會專集。
楊純明. 1995. 臺灣地區農業氣象災害(1945-1993)及因應之研究方向。中華農業氣象 2:31-35。
楊純明 鄭清煥 蘇慕容 李裕娟. 1997. 被覆PE塑膠布對隧道式栽培洋香瓜生長之影響。中華農業氣象 4:145-152。
楊盛行. 1994. 氣候變遷對未來農業生產之衝擊及因應之道。中華農業氣象 1:125-131。
郭孚燿(編). 1993. 亞熱帶地區蔬菜設施栽培技術。p.116. 臺中區農業改良場。
郭孚燿 吳世偉. 1989. 蔬菜設施栽培連作問題及病蟲害管理。p.172-191。第二屆設施園藝研討會專集。
郭建榮 蔡青園 陳清義. 1997. 液溫對夏季水氣耕栽植溫室洋香瓜光合作用及果實品質之影響。中華農業氣象 4:97-103。
陳鴻堂. 1992. 臺灣中部設施栽培土壤鹽分累積之特性及改良。中興大學土壤研究所碩士論文。
陳加忠(編). 1997. 花卉設施實用手冊。p. 166. 中華盆花發展協會。
陳清義. 1989. 水氣耕栽培。第二屆設施園藝研討會專集。p.XI-XIV。
陳怡仁 黃振文 陳隆鐘. 1996. 立枯絲核菌對賓克隆殺菌劑的感受性與其影響因子。植物保護學會會刊 38:313-328。
翁仁憲. 1994. 玻璃溫室微氣候對水耕蔬菜生育之影響。中華農業氣象 1:35-39。
翁仁憲. 1995. 玻璃溫室微氣候及根溫對水耕蔬菜葉溫之影響。中華農業氣象 2:15-21。
翁仁憲. 1996. 作物之光合、呼吸及蒸散作用與其環境適應性之關係。中華農業氣象 3:1-7。
廖志翔. 1998. 全球氣候變遷對全球與台灣地區氣象環境之影響及因應策略。p.全球氣候變遷對農作物生產之影響及因應策略。台灣省農業試驗所。
蔡青園 廖松淵 陳清義. 1994. 液溫對水氣耕溫室植洋香瓜生長及光合成特性之影響。(I)夏季水氣耕降溫處理之效果。中華農學會報 新166:41-56。
蔡金川 漆匡時 姚銘輝 劉慧瑛 梁連勝 劉復誠 李炳和. 1996. 不同設施栽培對葉菜類蔬菜生產之影響。p.209-224。農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產

影響及因應措施研討會論文集。

羅幹成. 1987. 設施園藝之蟲害問題及防治方法之探討。p.173-184。設施園藝研討會專集。

相馬曉. 1985a. ハウス野菜の連作障害の實態と對策(1)。農業および園藝 60: 1287-1290。

相馬曉. 1985b. ハウス野菜の連作障害の實態と對策(1)。農業および園藝 60:1415-1420。

Acock, B. 1990. Effects of carbon dioxide on photosynthesis, plant growth, and other processes. p. 45-60. *In*: Impact of Carbon Dioxide, Trace Gases, and Climate Change on Global Agriculture. Kimball, B.A., N.J. Rosenberg and L.H. Allen, Jr. (eds.). ASA Special Publ. No. 53.

Amthor, J.S. 1997. Plant respiratory responses to elevated carbon dioxide partial pressure. p. 35-78. *In*: Advances in Carbon Dioxide Effects Research. Allen Jr., L.H., M.B. Kirkham, D.M. Olszyk and C. E. Whitman (eds.). ASA Special Publ. No. 61.

Anderson, A. 1986. Comparison of fluorescent lamps as an energy source for production of tomato plants in a controlled environment. Scientia Hort. 28:11-18.

Businger, J.A. 1966. The glasshouse(greenhouse) climate. *In:* Physics of Plant Environment. p.277-318. 2nd ed. Van Wijk, W.R. (ed.). North-Holland Publ. Co.

Frank, G., E. Kauer and H. Kostlin. 1981. Transparent heat-reflecting coatings based on highly doped semiconductors. Thin Solid Films 77:107-117.

Godbey, L.C., T.E. Bond and H.F. Zornig. 1979. Transmission of solar and long-wavelength energy by materials used as covers for solar collectors and greenhouses. Tran. ASAE 1137-1144.

Goldsberry, K.L. and W.D. Holley. 1962. Carbon dioxide research on roses at Colorado State University. Colo. Flower Grower's Assoc. Bull. 151:1-6.

Hagen, P. and R. Moe. 1981. Effect of temperature and light on lateral branching in poinsettia (Euphorbia pulcherrima Willd.). Acta Hort. 128:47-54.

Hanan, J.J., W.D. Holley and K.L. Goldsberry. 1978. Greenhouse Management. Adv. Ser. In Agric. Sci. 5. p. 530. Springer-Verlag, New York.

Idso, K.E. and S.B. Idso. 1997. A synopsis of a major review of plant responses to rising levels of atmospheric carbon dioxide in the presence of unfavorable growing conditions. p. 131-139. *In*: Advances in Carbon Dioxide Effects Research. Allen Jr., L. H., M. B. Kirkham, D. M. Olszyk and C.E. Whitman (eds.). ASA Special Publ. No. 61.

Moe, R. and R. Heins. 1990. Control of plant morphogenesis and flowering by light quality and temperature. Acta Hort. 272: 81-89.

Monteith, J.L. and M. Unsworth. 1990. Principles of Environmental Physics. p. 291. 2nd ed. Edward Arnold.

Mortensen, L.M. and E. Stromme. 1987. Effects of light quality on some greenhouse crops. Scientia Hort. 33:27-36.

Ogawa, J. M., B. T. Manji, C.R. Heaton, J. Petrie and R.M. Sonoda. 1983. Methods for detecting and monitoring to resistance of plant pathogens to chemical. p. 117-162. In: *Past Resistance to Peticides.* Georghion, G.P. and T. Saito (eds.) Plenum Press.

Ota, Y. and D.L. Wu. 1989. Improvement of hydroponic tomato culture system for the tropic. p. 148-162. Proc. of the second

congress on horticultural production under structure.

Rosenberg, N.J., B.L. Blad and S.B. Verma. 1983. Microclimate. The Biological Environment. p. 495. 2nd ed. John Wiley & Sons.

Shatla, M.N. and J.B. Sinclair. 1963. Tolerance of pentachloronitrobenzene among cotton isolates of *Rhizoctonia solani.* Phytopathology 53:1407-1410.

Shen Y., J.T. Wu. and I.P. Wang. 1992. Solar radiation quality inside greenhouses and an improvement technique. J. Chinese Agric. Chem. Soc. 30:321-327.

Shen, Y. and C.L. Chen. 1992. Relations of photosynthetically active radiation to measured solar irradiance in summer in central Taiwan. Proc. Natl. Sci. Counc., ROC Part B: Life Sci. 16:151-154.

Shen Y., W.C. Lin and J.T. Wu. 1994. Influence of potassium and calcium on leaf temperature of Chinese cabbage. Bot. Bull. Acad. Sin. 35:33-37.

Sorrentino, G., L. Cerio and A. Alvino. 1997. Effect of shading and air temperature on leaf photosynthesis fluorescence and growth in Lily. Scientia Hort. 69:259-273.

Stigter, C. J. and V. M. M. Musabilha. 1982. The conservative ratio of photosynthetically active to total radiation in the tropics. J. Appl. Ecology 19:853-858.

Tibbits, T. W., D. C. Morgan and I. J. Warrington. 1983. Growth of lettuce, spinach, mustard, and wheat plants under four combinations of high-pressure sodium, metal halid, and tungsten halogen lamps at equal PPFD. J. Am. Soc. Hort. Sci. 108: 622-630.

Ueyama, I., Y. Araki, S. Kurogochi, K. Yoneyama and I. Yamaguchi. 1990. Mode of action the phenylurea fungicide pencycuron in *Rhizoctonia solani.* Pesticide Sci 30:363-365.

Walker, J. N. and D.C. Slack. 1970. Properties of greenhouse covering materials. Tran. ASAE 682-684.

Willmer, C. M. 1983. Stomata. p.166. Longman, London.

Chapter 7 Effects of Global Climate Change on Structure Cultivation in Taiwan Area and Strategies in Response

Yuan Shen
Department of Soil and Environment Sciences, National Chung-Hsing University
Lung-Chung Chen
Department of Plant Pathology, National Chung-Hsing University

ABSTRACT

The instability of agricultural production in Taiwan area will be increased due to global climate change. Therefore, structure cultivation will be used more extensively than nowadays to stabilize the agricultural production and to raise the quality of agricultural products. The structure may protect horticultural crops from damages of rain impact, acid rain, cold injury and high UV. However, growth-limiting microenvironments within the structure will also be produced. Among those limiting factors, heat stress, soil salinization and pest and disease problems are considered to be the most serious. Techniques such as using proper covering materials in conjunction with ventilation, and lowering root temperature can be used to alleviate crop heat stress. Methods of fertilization, irrigation and drainage for structure cultivation needs to be developed to alleviate problems of soil salinization. Methods of biological control and composite application need to be developed to alleviate problems of pests and diseases.

Key words: Global climate change, Structured cultivation, Heat stress, Pests and Diseases, Cover material, Cooling techniques.

氣候變遷對農作物生產之影響
第8章　作物生產對臺灣地區溫室效應氣體
之產生量及減量措施　121-140, 1998

第八章　作物生產對台灣地區溫室效應氣體之產生量及減量措施

王銀波　趙震慶　譚鎮中
國立中興大學土壤環境科學系
楊盛行　賴朝明
國立台灣大學農業化學系
黃　山　內
臺灣省臺南區農業改良場
劉　瑞　美
嘉南藥理學院環工衛生系

摘要……122
壹、前言……123
貳、台灣地區農用土壤排放溫室氣體之研究概況……123
參、大氣CO_2 濃度增加對作物生產之影響……123
肆、作物生產系統土壤氧化亞氮之排放……126
伍、土壤甲烷之生成與排放……127
陸、溫室效應氣體在農作物生產上減量措施……129
柒、結語……131
參考文獻……131
英文摘要……139

第八章　作物生產對台灣地區溫室效應氣體之產生量及減量措施

王銀波　趙震慶　譚鎮中
國立中興大學土壤環境科學系
楊盛行　賴朝明
國立台灣大學農業化學系
黃山內
臺灣省臺南區農業改良場
劉瑞美
嘉南藥理學院環工衛生系

摘　要

作物生產過程所排放之溫室氣體，以甲烷及氧化亞氮為主。依據目前資料所示，每年農業(作物與畜牧)所排放之溫室氣體(包括CO_2、CH_4及N_2O)，所增加之輻射溫暖化作用(radiative forcing)之比例，佔全球人為增加輻射溫暖化作用之20%。甲烷與氧化亞氮的生成量依次佔全球人為排放量之50%與70%。本省農業土壤每年約排放35000公噸之CH_4及10492公噸之N_2O-N。大氣中CO_2濃度的增加可直接促進光合作用而增加作物產量。但增溫與CO_2之增加對作物其他生理反應，如呼吸作用，水分蒸散，水分利用效率，生育期的改變，作物品質等皆可能有正面或負面的影響。此外，對作物的生長環境，如土壤有效水分與養分的供應及土壤溫度等等，均將因氣候改變而間接影響作物的生產。減緩大氣中CO_2濃度之上升，在作物生產上，應自減少石化燃料之消耗，增加碳在土壤中或地表貯存量。例如改用最少耕耘法，灌溉程序之訂定，日光乾燥作物，改善有機肥料管理及利用生物燃料。耕地排放甲烷主因水田或大雨後土壤浸水而生成，欲降低CH_4自農耕生產中生成，應設計較佳的水田浸水管理制度，動物廄肥之貯存，處理與利用。農業上N_2O之釋放，主要係來自施用氮素肥料與土壤有機質之礦化，欲減少N_2O自農耕地中排放，最佳方法為增進肥料利用率，其次為使用硝化及尿素水解之抑制劑，整合作物與畜牧生產等。未來研究是(1)建立CO_2，CH_4及N_2O自各重要土壤排放量，(2)研究其有效減量措施，(3)比較CO_2、CH_4及N_2O田間實測值與IPCC法之測值，(4)建立合用於台灣之土壤排放CO_2，CH_4及N_2O之模式。

關鍵詞:甲烷，氧化亞氮，二氧化碳，減緩，排放，土壤，農業。

壹、前　　言

溫室效應氣體的種類，大多數國家均強調為三大類，即CO_2、CH_4及N_2O。但於1997年京都氣候變遷談判中，美國建議另增氫氟碳化物(HFCs)，氟碳化物(PFCs)與六氟化硫(SF6)等物質而成為六類(柳，1997)。農業生產僅對人為生成CO_2、CH_4及N_2O具有貢獻(Bounman,1990a)。據估算每年此三種氣體在大氣中所增加溫暖潛勢之比例，農業生產佔總量的20%，土地利用之改變佔14%，其它為66%(Cole等,1995)。其中土地利用之改變與農業生產關係密切，特別是熱帶雨林開發為耕地與牧場時，林木之焚燒及土壤有機質之降解為主要貢獻者。

近年已有較明確之證據顯示，農業上排放溫室氣體，CH_4除來自水田、反芻動物外，動物廄肥為另一重要來源，而N_2O雖亦強調由施用之氮肥轉形而來，但各種氮肥在不同土壤生態環境中生成量，仍然不夠明確(Cole等,1995)。台灣地區近年針對農耕地與林地等生態系中的土壤溫室氣體排放，曾作有系統而較長期之觀測，以期建立本省土壤排放溫室氣體基本資料，分述於後。

貳、臺灣地區農用土壤排放溫室氣體之研究概況

Yang(1998)、王銀波與謝學武(1995)由8處之實地測值估算民國83年、84年、85年臺灣地區水稻種植時，甲烷釋出總量分別約為38708公噸，34143公噸，32800公噸。臺灣地區旱田栽培面績約為30萬公頃，排放甲烷約為280公噸，蔬菜、花卉栽培面積約為40萬公頃，排放量約為1500公噸(Yang,1998)，本省闊葉林每年排放約為1100至-1200公噸，坡地果園每年排放為230至-500公噸(王及謝，1998)。Chao等(1998)曾田間觀測臺灣中南部八縣四市不同農業土壤生態系排放N_2O量，水田土壤全年約排放696公噸，旱田土壤約排放3083公噸，果園土壤約排放836公噸，闊葉林地約排放1327公噸，此四類生態系土壤合計約排放5959公噸N_2O-N。如果據此而推估全省此四類生態系土壤全年排放量約為10492公噸N_2O-N。Lai等(1997)觀測臺灣北部水田土壤排放N2O量每年為1080-2150公噸，旱田土壤包括玉米田及蔬菜園每年約為1230至4580公噸。

譚(1997)曾測得臺灣中南部即水田土壤於排水後期CO_2排放量為3至6.5kg $CO_2 hr^{-1} ha^{-1}$而生長期中幾乎無法測得。王(1997)觀測台灣北部土壤CO_2之排放水田在不含植株土壤上，CO_2排放量為-600到630 mg CO_2 m^{-2} hr^{-1}，而旱田土壤則為-20至1190 mg CO_2 m^{-2} hr^{-1}之間。而林地為-80至70 mg CO_2 m^{-2} hr^{-1}(陳等1998)。

土壤環境除會生成CO_2，CH_4，及N_2O外，同時亦具有吸收及消耗此三種溫室氣體之能力，例如CO_2可被光合菌或化學自營菌所固定，或於土壤中形成碳酸鹽。CH_4可被土壤中甲烷氧化菌氧化為CO_2，而N_2O亦可經由脫氮作用中氧化亞氮還原酵素還原為N_2，此為土壤中各種微生物功能之一(Paul and Clark，1989)。楊(1997)曾報導，於密封氣盒中加入150 ppmv CO_2，50 ppmv之CH_4及N_2O結果顯示水田土壤於一期稻作時，最大吸收量為13.5 mg CO_2 m^{-2} hr^{-1}至91.5 mg CO_2 m^{-2} hr^{-1}。在旱田與濕地最大吸收量為5540 (220 ug m^{-2} hr^{-1})。森林土壤CO_2排放量約為199至145 mg CO_2 $m^{-2}hr^{-1}$。而CH_4吸收量分別為0.47至1.2 mg CH_4 m^{-2} hr^{-1}。N_2O則為373至356 ug N_2O-N m^{-2} hr^{-1}。於果園土壤CO_2排放量約為145 mg CO_2 m^{-2} hr^{-1}，N_2O之吸收量為24至140ug N_2O-N m^{-2} hr^{-1}，而CH_4量則為0.11至0.12 mg CH_4 m^{-2} hr^{-1} (楊及劉，1998)。

參、大氣CO_2濃度增加對作物生產之影響

CO_2為地球溫室效應氣體之一。工業革命之後，大氣中CO_2濃度迅速增加，由1860年的270 ppm增加到1991年的355 ppm左右。目前約以每年0.5%的增加率持續增

加中 (ICPP，1992)。預估到2100年時，大氣 CO_2 濃度將有可能達到目前濃度的二倍 (ICPP，1992)，但此項預測，仍須視全球各國對石化燃料使用之程度以及森林開發的速度而定。因為石化燃料的使用與森林的開發是大氣 CO_2 濃度增加的主要因素。

在工業革命前 (1860年)，大氣 CO_2 濃度持續但緩慢的增加，主要是因為森林之開發，林木之砍伐，1860年後，石化燃料開始被利用而使得大氣中 CO_2 濃度增加的速度加快。1940 年後，石化燃料對大氣 CO_2 濃度之貢獻，超過了森林開發 (Duxbury and Moiser，1993)。以1990為例，全球 CO_2 的釋出量有 77% 來自石化燃料的使用，而23%來自農業活動。但是因國家發展程度不同，而有所不同。例如在美國農業活動所釋出的 CO_2 為總釋出的2.4%，其他則為能源消耗所釋出。在巴西則有69.2%來自農業活動。此處所指農業活動即是把森林開發後做為其他農業或開發成居住處所、城鎮等用途。然而大多數把森林砍伐對大氣CO_2 濃度之影響，是以砍伐掉的植物生質量全部被燃燒成CO_2 為前提所估算出來。如此估算可能與事實有所差別，因為不是所有砍伐的林木都被燃燒掉，有的做為紙張材料，有的做為建築材料、傢俱材料等，而這些製品可保存很久而不被分解。Oescher (1989) 以同位素方法區分石化燃料與森林砍伐對大氣CO_2 濃度之影響，發現1920年之後，森林砍伐所造成之CO_2 釋出量已低於1920年前之釋放量，而其所佔總CO2 釋出量的比例也遠低於上述Duxbury and Moiser(1993)之估計。

因此除非能掌握林木砍伐後之去向與用途，否則，有關因森林砍伐而造成的 CO_2 釋出量之評估皆有其不確定性，本省有關此方面之研究仍嫌不足。但由於近年來工業加速發展，可預期CO_2 釋出量大部份來自石化燃料的使用。但山坡地，林地開發的情形日益嚴重，也可能造成相當可觀的CO_2 釋出。因此須對此問題加以釐清，到底林地開發所造成之CO_2 釋出有多少?其在全國CO_2 總釋出量所佔之比例為何?除了為水土保持的目的之外，為保存碳素於陸地生態系中以減少CO_2 釋出量，森林開發須更嚴格的管制。

大氣CO_2 之增加，將增加地球表面的溫度，以目前普遍被利用來估算因溫室效應氣體所造成之氣候變化模式General Circulation Models(簡稱GCM)(Grotch, 1988 ; Gutoski *et al.* 1988)，來估算2100年時CO_2 濃度達到680ppm(約為目前的二倍)時，陸地表面溫度將增加為1.5至4℃。

由於CO_2 的增加可直接促進植物光合作用，溫度增加也影響光合作用與植物其他的生理作用，因此將影響作物產量。Mattews *et al.* (1995)在亞洲各地從事氣候變遷對水稻生產影響之研究，以GCM模式估算各地在CO_2 濃度達680ppm時的溫度及降雨量，並以所得的資料套入兩個水稻的生長模式，ORYZAI(Kropff *et al.* 1995) 和 SIMRIW(Horie, 1995)，預估台灣水稻產量將因之增加11.8至28.0%。然而此預估值仍有許多不確定性。例如在ORYZAI的生長模式中，假設水稻開花前後每日最高溫若超過33℃時，則幼穗無法結實而變空穗。但事實上，此假設條件會因品種不同而異。此外，這些模式只考慮CO_2 濃度、溫度及植物本身生理反應，(且不是全部可能受影響之生理反應)，並未考慮其他環境(如土壤條件，養分供應等)因子的變化。

雖然這些模式已廣為利用，但應用到本省水稻生產時，須重新審視其適用性。此外即使在本省各地，水稻生長之環境亦有很大之差異。上述Mattews 等之模擬僅僅以屏東地區氣象站所得之氣象資料做為預估之基礎，其結果是否可應用於其他地區，須加以仔細評估，以求得較佳之評估值。另外的做法，可改用其他的模式或與其他有關土壤條件、養分供應等模式相結合，使得考慮較為週全，預估值也較可靠。除了水稻之外，對其他作物之影響，亦應有

所預估。

大氣CO_2的增加對光合作用的影響，因作物而異。例如C_3型與C_4型植物的反應就不一樣。一般而言，C_3型植物的光合作用速率雖然在目前的大氣CO_2濃度下較C_4型植物低，但可因CO_2濃度之增加而持續加快;而C_4型植物大致上在CO_2濃度大於400ppm以後，光合作用速率的增加速率趨緩，在500 ppm左右時，C_3型植物之光合作用速率可高過C4型植物(Wolfe and Erickson, 1993)，但此現象將因品種不同而不同，因此糧食作物之光合作用如何受CO_2濃度之影響，以及在CO_2濃度持續增加的情況下，如何選用適當之作物與品種，值得進一步探討。

除了光合作用外，很多的研究顯示CO_2濃度增加，由於氣孔不必常開，或氣孔之傳導降低，因此可降低水分之蒸散。由於光合作用速率增加，水分蒸散減少，因此作物對水分之利用率(water use efficiency)將提高(Morison, 1989)，然而此現象亦因品種而異。此外，作物水分利用率高，並不表示作物生產時總需水量可減少，因為CO_2濃度增加，光合作用速率增加，乾物重隨著增加，需水量較多(即使單位乾物重所需水量較少)，因此水資源如何有效的分配利用亦是一值得探討之課題。

大氣CO_2的增加，將使地表溫度升高，作物光合作用與呼吸速率均會受到影響。作物有其最適於光合作用之溫度(Long, 1991)，如果增溫使溫度超過其最適溫度，則光合作用速率降低，反之，若增溫結果使其趨近於最適溫度，則可增加光合作用速率。水稻的光呼吸受CO_2增加而抑制(Baker *et al.* 1992)，而增溫會使得光呼吸受抑制的情形更為嚴重(Amthor, 1991; Imai, 1995)，但有關此方面之研究，以及除水稻之外，其他作物之研究仍嫌不足，須進一步探討。生育期的改變也是增溫對作物可能之影響。例如增溫可使水稻提早成熟、老化(Imai, 1995)，因此其相關之問題，例如耐熱品種之選擇，栽培制度(時間)的調整等均須做通盤考量。

作物之品質會受到CO_2增加之影響。Conroy and Hocking (1993)認為23年來澳洲小麥穀粒的氮含量與蛋白質含量持續降低與CO_2之增加有關。Imai(1995)則指出水稻在較高的CO_2濃度下，穀粒中Mg含量以及Mg/K比降低，但如果夜間溫度增高時，穀粒氮含量增加，這些都使米質變差(Horino, 1990)。如何以肥培管理方法矯正這種因養分失衡所造成之結果，亦是在氣候變遷下，糧食生產須面臨之問題。

除了上述對作物生理之影響外，CO_2濃度之增加，以及增溫之結果也會改變作物生長環境。其中較重要者，如土壤有機質的含量與分解。由於CO_2增加，加速光合作用，因此有較多的光合產物留於土壤中，但同時增溫之結果亦會加速有機質之分解(Bradbury and Powlson, 1994)，二者之間之消長有待探討。

對養分循環之影響亦將間接影響作物之生長。氮素循環中包括生物固氮、有機態氮的礦化、硝化作用、脫氮作用、氨揮散以及氮素淋洗等，均受到CO_2濃度增加與增溫之影響(Davidson, 1994)。Bradbury and Powlson (1994)指出在英國，如果每20年增加0.6℃，土壤中的有機態氮會因礦化作用加速而逸失。在其它地區其他耕作制度下，這些土壤中有關氮素循環的作用，如何因氣候變遷而改變，及其對作物生長之影響，均值得進一步探討。

CO_2濃度增加將使雨變得更酸，且作物光合作用加速的結果，使根分泌物增多，導致土壤微生物活動旺盛，呼吸量增加，使得微區域的pH降得更低，因此可能使土壤風化加速，較難溶的化合物溶解度增加(Davidson, 1994)，如果是植物的必要元素(如Fe、Mn、Cu、Zn、P、Ca、Mg等)將對作物生長有利。但另一方面，增溫可能增加土壤蒸發量，使土壤變得更乾，化合物的溶解量降低，反而不利作物生長。因

此正反之影響均須做有系統之評估。此外，在較高溫度及較乾燥的情形下，如何有效利用菌根真菌，使作物吸收充分之養分，亦為一值得探討之課題。

為了降低大氣CO_2濃度之增加速率，減少石化燃料之使用(以其他燃料或能源替代，或增加石化燃料之效率而節省能源)是最直接有效之方法。在農業上，可從嚴格限制森林之開發著手，此外，重新造林，以及把土壤視為碳素的匯集處所(sink)。把碳素留置(sequestration)於土壤中，亦是有效之方法。Mausbach and Spivey(1994) 指出濕地與腐植土含有大量碳素，主要是因為這些土壤中有機質分解較慢。在台灣的耕作環境下，水稻田是一保持有機質的良好處所。水稻田若轉為旱田，有機質將加速分解。因此，水田的轉作，休耕等均可能不利於有機質之存留，反而加速CO_2之釋出。如何從土壤利用，栽培制度之調整，以達到較多碳素留存於土壤之目的，為今後一重要課題。

肆、作物生產系統土壤氧化亞氮之排放

氧化亞氮(N_2O)為長壽命溫室氣體，亦為大氣同溫層中NO之主要來源，為臭氧層化學主要反應者(Cicerone，1989)，由南極冰柱中N_2O濃度顯示，1850年後大氣中N_2O濃度緩步上升，至1950年後大幅快速上升，每年增加0.22±0.02%，目前測值為311 n mol mol^{-1}，其壽命為166±16年，每一分子的全球溫暖潛勢(The global warming potential，簡稱GWP)，目前約佔全球總GWP之2-4%，日後可達10% (Battle *et al.*, 1996; Prinn *et al.*, 1990)。

農業生態系中由土壤微生物生成N_2O的主要反應有三種，即脫氮作用包括有氧與無氧條件下(Knowles，1982; Zumft，1997)，自營與異營硝化菌於銨氧化過程(Bremner and Blackmer, 1978; Tortoso and Hutchinson，1990)，及共生與非共生生物固氮作用(Cole *et al.*, 1995)。其他生成方式包括強還原性環境中，由細菌所進行的異化硝酸鹽為銨的程序中生成，或自營嗜甲烷菌還原NO_3^--N為N_2O，以及細菌、真菌及藻類在代謝氮素過程中的非呼吸作用亦會生成N_2O。但N_2O之生成量遠低於前述三種作用。

氮素養分為各種作物生產基本材質之一，合理化施用氮素肥料配合其他生產材質，往往可提升作物產量至該生產環境中最高生產量。常用氮肥包括無機與有機兩類肥料，前者包括各式各樣的氮肥，自液態氨水至固態單質或複合氮肥，後者包括各種綠肥，作物殘體，農家堆肥及廄肥。目前全球化學氮肥使用至農地每年約為77.4 Mt (百萬噸)。廄肥氮用為氮肥之量約含氮74.9 Mt(Cole *et al.*, 1995)。人為排放N_2O主因林地轉變為耕、牧地，農業系統中施用高氮肥(包括化學氮肥與廄肥)。依目前評估，每年施用化學氮肥而排放N_2O-N為1.53 Mt(百萬噸)，動物廢棄物為1.49 Mt，及生物固氮為0.50 Mt，合計為3.50 Mt(範圍1.8-5.3 Mt; Cole *et al.*, 1995)。估算各國由肥料氮生成N_2O-N量，依Bouwman (1996)所述公式：

田間全年直接排放 $N_2O\text{-}N=1+0.0125 \times$ 施用氮量(Kg N/ha)

然因氨揮散，NOx之轉形成酸落降，淋洗與沖蝕等間接將氮素移入土壤而生成N_2O，每年約排放N_2O-N量為總施氮量之2%(Mosier *et al.*，1996)。

臺灣有關溫室氣體中氧化亞氮的研究，自民國八十三年開始比較有系統的進行。中、南部四處水田土壤，全年排放N_2O量為4.2至6.6Kg N_2O-N ha^{-1}，約為施氮量之1.3至1.9% (趙，1995; Chao and Young，1996)，在旗山地區種植水稻，施用120 kg N ha^{-1}，於102天生長期中施用尿素的試區排放N_2O-N為施氮量之1.68%，略高於同試區同氮量施用硫酸銨試區，後者為1.26% (趙，

1996)．北部水田試區於1994年第二期稻作，測值為0至3,129 g N_2O ha^{-1}，於1995第一期作測值為3,012至7761 g N_2O ha^{-1}(賴，1995 ; Lai，1995; Lai *et al.*, 1997)。在旱田方面，桃園玉米田秋作每生長季排放N_2O-N 為3.75 至 5.211 kg N_2O ha^{-1}，洋香瓜田為13.553至42.464 kg N_2O ha^{-1}。春作蔬菜園為14.06至34.1 kg N_2O ha^{-1}(賴，1996，1997; Lai and Tseng，1996)。台南豆科作物全年排放N_2O-N量為6.82 kg ha^{-1}，而旗山蔬菜園排放量為11.93 kg ha^{-1}，分別為所施用氮肥量之3.20%和 1.43% (趙，1996 ，1997)，在濕地方面，關渡濕地在321天中N_2O-N排放量為1.015- 1.806 kg N_2O ha^{-1}，港南濕地為0.974-2.098kg ha^{-1} (賴，1997)。大肚溪濕地每年排放N_2O-N 1.60 kg ha^{-1}，曾文溪濕地為1.65 kg ha^{-1}(趙，1996，1997)。林地方面，北部高海拔山地為0至17g N_2O-N $ha^{-1}day^{-1}$ (賴，1998) ，中南部低海拔林地則為3.4到4.0 kg N_2O-N ha^{-1} yr^{-1}。本省中、南部坡地果園全年排放量3.78至5.54 kg N_2O-N ha^{-1} yr^{-1}(趙，1998; Chao *et al.*，1997)。Chao *et al.* (1997)依三年試驗結果，合併計算臺灣中、南部八縣四市全部水田、旱田、果園及闊葉林地共計面積為97萬公頃，全年排放5,944 kg N_2O-N，依此數據類推至全省，則這些農業生態系土壤面積為1,936,616公頃，排放N_2O-N量每年約為10492 噸(Chao，1998)。

未來三年(1997年至2000年)將繼續研究作物系統中土壤排放N_2O-N之減量策略，包括水田與有機肥料製造與施用。今後應加強研究的方向，我們認為如下：(1)更廣泛估算各種土壤特別是旱田氧化亞氮排出量與施氮量及土壤有機質之相關性，(2)尋求各種作物生產體系下減量措施之功效，如合理化施肥(含提高氮肥利用率)，硝化抑制劑之利用，(3)發展一套合用於熱帶、亞熱帶水、旱田排放N_2O-N量估算法，(4)現有不少的模式用以估算N_2O-N排放量，例如Grant (1995)以模式估算硝化作用之N_2O-N排放量，Muller等(1997)以模式估算硝化與脫氮作用中N_2O-N排放量，Holland與Lamarque (1997)以模式估算生物與大氣圈之氮素循環中NOx之排放與NOy之落降。可藉此發展適用於台灣耕地土壤排放N_2O-N的推估模式，(5)評估臺灣地區豆科共生固氮及利用有機肥料時，N_2O排放量與減量策略。總之，目前臺灣對水田、旱田（含蔬菜園、玉米田）、果園、濕地、森林土壤及垃圾掩埋場等土壤氧化亞氮之釋出量調查估測，已有一至三年之資料，亟需加以整合，並與IPCC方法估算之結果加以比較，並據以尋求一套適合臺灣的氧化亞氮釋出量之估計方法。其次氧化亞氮釋出量資料不足之重要土壤，亟視情況儘速補足，尤其是施肥較多之農田土壤。再者亞氮釋出量之減量措施需要研究其適合臺灣推廣者。結果成熟後，應立即推廣，以減少臺灣地區氧化亞氮之釋出量。最後發展一套臺灣適用的氧化亞氮釋出量之推估模式，以供各界瞭解而管制氧化亞氮的釋出。

伍、土壤甲烷之生成與排放

大氣組成之變化對地球表面溫度之影響甚鉅，其中二氧化碳(CO_2)濃度之增加，對溫室效應之影響約佔60％(Manabe and Wetherald, 1987 ； Dickinson and Cicerone, 1986；Kimura *et al.*, 1991)，然而，大氣中仍有其它微量溫室效應氣體，如甲烷(CH_4)、氧化亞氮(N_2O)、及氟氯碳化物($CFCl_3$)對於溫室效應之影響亦不容忽視(Wang *et al.*，1976 ；Rmanth *et al.*, 1985)，其中甲烷對於溫室效應之影響約佔15%，因其吸收輻射之潛勢為二氧化碳之30倍(Kimura *et al.*, 1991；Wang *et al.*, 1976)，故甲烷在大氣中之含量雖遠小於二氧化碳，但其對地球增溫所產生之影響卻隨人類文明進步而大幅增加(Bartlett and Harriss, 1993)，因此，溫室氣體在大氣中之消長，與環境影響因子之關係，廣泛地受科學家之關切。

溫室氣體中二氧化碳、甲烷與氧化亞

氮之產生與釋放，均與土壤有直接關係(Kimura *et al.*, 1991)，其中80%之甲烷是在還原環境下，由一群厭氣之甲烷生成菌(Methanogens)分解有機物所產生(Ehhalt and Schmidt, 1978)。因此常發生在浸水土壤(如;水稻田中之有機質材之厭氣分解)、反芻動物的消化過程與棄置垃圾時有機廢棄物的發酵過程等(Bouwman, 1990a)。約有40%左右的甲烷是由濕地所釋出(Whiting and Chanton, 1992)，因為濕地土壤終年或大部份時間都處於浸水狀態，水中之氧氣擴散速率較大氣中慢104倍，土壤極易變成厭氣狀態，有機物含量豐富、氧化還原電位低，容易產生甲烷(Frenzel *et al.*, 1992)。Aselmann and Crutzen (1989) 估計全球每年從自然濕地可釋放出 40-160 Tg的甲烷，而從水稻田釋出的甲烷則有60~140 Tg左右。陸稻因用旱田栽培，無淹水，故無明顯的甲烷釋出，其產量約僅佔全球稻米產量之10%，面積則僅佔15%。而全球水稻年收穫面積在1980 年約為123.2百萬公頃，且90%以上為於亞洲(Neue *et al.*, 1990)，其中台灣地區水稻栽培面積，兩期稻作合併計算約為35萬公頃(台灣省農業年報，1996)，為本省重要糧食作物。

在聯合國的環境規畫署(UNEP)與世界氣象組織(WMO)共同設立的政府間氣候變遷專家委員會(IPCC)的研究資料中，估計日本與韓國水田的甲烷釋放率約為15g/m^2/期作;菲律賓為25-30g/m^2/期作;泰國為4-40g/m^2/期作；美國德州則為15-35g/m^2/期作(IPCC, 1996)，而在國內的報告中，臺灣北部水稻之甲烷釋放率為4.15-20.7g/m^2/期作；臺灣中部為0.22-10.45g/m^2/期作；臺灣南部為2.16-10.17g/m^2/期作；臺灣東部為1.2-18.8 g/m^2/期作(呂等，1998)。

影響水稻田釋出甲烷的因子主要分為土壤、氣候、植生及人類活動等方面，(Yagi and Minami, 1990；King *et al.*, 1990；Lindau *et al.*, 1993；Wang *et al.*, 1993；Kimura *et al.*, 1991；Kludze *et al.*, 1993；Sass *et al.*, 1994；Trolldenier, 1995)。氣候方面之因子主要為溫度之高低和雨量之多寡，例如：氣溫下降會抑制土壤中甲烷生成菌之活性；降雨量增加則會提高土壤水分含量而阻礙其通氣性有利於甲烷生成。植生方面則因可直接提供產生甲烷所需要之基質碳，並透過水稻之通氣組織將甲烷自根圈傳送至大氣中(Kludze *et al.*, 1993)，而減少甲烷產生後在土壤中便被消耗的機會(Bender and Conrad, 1994)。人類活動的影響主要是來自土地利用方式之改變、添加有機物、灌水與施用化學肥料等行為。土壤因子則包括pH值、氧化還原電位(Eh)、有機物含量、溫度等，例如：氧化還原電位對濕地土壤中甲烷的生成有極大之影響，因為甲烷生成菌為絕對厭氣菌(obligate anaerobes)，氧化還原電位是隨著 pH值的改變而有所不同，甲烷生成菌是一種對酸極度敏感的細菌，在pH 5.75以下與pH 8.75以上時，甲烷之產生幾乎被抑制，當土壤pH值維持中性時，甲烷之產生量為最高(Wang *et al.*, 1993)。van der Gon and Neue (1995)比較菲律賓粘土水田添加綠肥對甲烷釋出量之影響，其中添加2O ton/ha的處理約為施用尿素的兩倍，且以插秧後兩週內添加綠肥之影響最大；Lindau and Bollich(1993)則指出甲烷之最大釋出量出現於插秧後30~50天，也就是水稻之分蘗期；Delwiche與Cicerone (1993)以石英砂做水稻盆栽試驗，以稻稈、纖維素與木質素為不同之碳源，結果顯示添加纖維素所釋出之甲烷量最高，木質素則最低，可知碳源之分解難易程度與甲烷之釋放有極大的關係。水田土壤處於還原狀態下，並無其他多餘的無機電子接受者，故有機物之多寡對甲烷之釋出量有極大之影響。Shannon and White (1994)指出泥炭地的平均地下水位15cm 以內時，地下水位之高度與甲烷之釋放量才有明顯的正相關，因為甲烷之生成主要分佈於有機物較多之表土中，當地下水位較深時對甲烷之產生則不構成影響。

臺灣地區水稻栽培面積兩期稻作合計約為35萬公頃(臺灣省農業年報，1996)為本省重要糧食作物，多採水田耕作栽培方式，稻穀產量高，栽培一期作為1月至7月；二期作為5月至12月，受各地區之氣候及土壤條件影響，其水稻品種、肥料及農藥使用略有不同，產量亦有所差異，此均與甲烷生成菌之活性有關，本省之水稻甲烷產生與逸釋量在過去之研究中雖有初步成果(Huang, 1991)，然大氣中甲烷之釋放正隨著文明的進步而不斷地地增加，調整水稻田土壤管理制度將有助於降低水稻田甲烷釋放。今後本省水田栽培面積將可能因進入世界貿易組織(WTO)而減少，CH_4自水田土壤排放量應只會減少而不會增加。

陸、溫室效應氣體在農作物生產上減量措施

溫室效應氣體減量已成為世人所共識，甚至各國訂定減量標準，希望於西元2000年時能降到1990年之標準 (Van Amstel and Swart，1994；Mosier *et al.*，1996)。於今年京都會議中所簽公報中，要求已發展國家，將六種主要溫室氣體總括平均估算，於2008至2012年之間需較1990年再減少5.2% (Masood，1997)。行政院為因應國際趨勢，所採用之策略為2010年CO_2人平均排放量回歸至OECD水平再減10% (劉，1997)。為求整體經濟發展，農業生產亦應在適當的情形下盡一份心力。「民以食為天」為自古以來名言，政府決策單位欲對農業提出任何一種溫室氣體減量措施，首先要考慮到是食物之供應與國民接受性，而後再探討減緩溫室氣體之應用科技。農業上溫室效應氣體減量的底線是(1)農業生產應能維持國民之需求，巧妙平衡食物之生產與人口的需要。(2)對農民需有更多的利益(例如，勞動力之減少，因生產而需投入之資源應減少或更有效的利用)。(3)農業產品應被當地消費者接受(Cole *et al.*，1995)。基於上述條件，我們建議減量措施分項述之於後。

一、二氧化碳之減量措施

農作物係將大氣中CO_2經光合作用而生產，雖基本上對大氣中CO_2的收支可視為平衡，但如農業生產能減少土壤中有機質消耗，進而增加土壤有機質含量，將CO_2並變成土壤中可貯存性碳，減少伐木與林地之開墾，進而擴大造林，及生產生物燃料(biofuels)以替代石化燃料，均為我們減緩大氣CO_2濃度上升的主要策略。Cole *et al.* (1995) 指出全球各國在農業生產上，能推行減少碳之排放，增加碳之涵及彌補石油碳之消耗等措施，平均每年具有減少CO_2排放量之潛力為0.84至2.44 Gt C。在目前國內農業科技之條件下，能進行之減量措施，大致如下：

㈠降低石化能源在農業上之消耗，希望能降低目前消耗量之10-50%，建議的措施是提升石化能源在農業生產上之效率，及利用生物性燃料，包括生物性柴油(biodiesel)與生物性乙醇之生產(Cole *et al.*，1995)。

㈡增加碳在土壤中或上之貯存量

擴大造林面積與停止砍發森林，為有效降低大氣中CO_2濃度極有效方法之一。其次增強土壤管理，以減少土壤有機質之消耗，並企能增進土壤有機質之含量。例如利用減少耕耘法以降低土壤有機質礦化。推行有機農耕法以替代慣行農耕法，使用綠、廄及堆肥代替化肥，不但減少化肥生產所耗能量，同時亦可減緩這些有機廢棄物，因拋棄不用而快速分解產生具溫室效應之氣體。其次植物體中所含成分進入土壤後，依土壤微生物分解之難易大致上可分成三類，即易分解性碳(C_1)如單、雙醣、蛋白質與脂肪等；難分解性碳(C_2)如纖維素、半纖維素；抗分解性碳(C_3)如木質素(Van Veen and Paul，1981)。在農業科技上培育高木質素綠肥作物，不但有助殘體在土壤中殘存期增長，同時木質素代謝產物多為酚酸化合物，可能有助腐質物質之生成，而有助土壤中碳之貯存。

二、甲烷之減量措施

甲烷需在缺氧環境下生成。農業部門甲烷產生之主要來源有三，即反芻動物之腸胃排放，浸水稻田土壤在還原狀態下之生產及動物廄肥在厭氧程序下堆積時生成。其中水稻為本省最主要農作物，而動物廄肥為國內主要農業廢棄物，理想方式之一即用以製造有機肥料，均直接涉及作物生產，故就此二項分述之如下：

㈠水田

浸水稻田土壤產生甲烷的途徑是CO_2與電子給與者H_2，脂肪酸，或醇經甲烷生成菌(methane-producing bacteria)作用而生成(Conrad，1989；Oremland，1988)。在浸水稻田中，微生物生成甲烷的動力學，強烈受到土壤因子之影響，包括氧化還原電位，有機質之處理，土壤質地，pH，土壤溫度，無機氧化物如NO_3^-，SO_4^-，Fe_3^+，Mn_4^+等等(Bouwman，1990b；Lindau *et al.*，1994)。間歇浸水或生長季中排水，如水稻抽穗後多次排水晒田，減少稻田浸水狀況，可減少CH4之形成(王及謝，1997；Yagi and Minami，1993)，施用稻稈與綠肥將大幅提升CH_4之形成(彭及黃，1998；Lauren and Duxb ury，1993)。

浸水稻田甲烷減量措施，參考Cole等(1995)建議，我們認為應從(1)灌溉管理，減少土表浸水深度，尤其對粘重質地之土壤，尤需注意，(2)養分管理，少用有效性碳含量高的有機物做為堆廄肥及綠肥(如前述C1成分)，而使用含木質素量高之植物或將堆廄肥充分腐熟，以減少揮發性醇與酸，施用之後勿浸水降解，而預先翻犁在供氧較充分之情形下，讓有機物礦化釋放養分，(3)改良水稻品種，減少根分泌有機碳量。

㈡畜禽與廢棄物之再利用

家畜禽廢棄物經固液分離後，固體部分通氣發酵製成廄堆肥施用於田間，液體部分經暴氣使進入有氧代謝，儘量氧化所含有機養分。如必需行厭氧發酵，應設法收集液狀廄肥所產生之CH_4供燃料用。或直接使用至田間，需充分與土壤混合，以減少厭氧土域之形成。

三、氧化亞氮之減量措施

土壤中N2O之生成主由硝化作用與脫氮作用所生成(Bremner，1997)，同時N_2O又可繼續被氧化亞氮還原酵素繼續還原為N_2，視環境條件而異(Zumft and Kroneck，1990)。農業上人為生成N_2O主要來自大量施用氮肥，包括化學氮肥、綠肥與動物廄肥，另兩主要來源為生物固氮作用(Freney，1997a)，包括共生與游離固氮，或土壤有機質因耕作而加強礦化所產生。

硝化與脫氮兩作用生成N_2O，其量受環境因子影響頗鉅(Beauchamp，1997)，包括土壤水分、溫度，NO_3^-與NH_4^+濃度，pH，有效性碳。基於這些物理、化學及生物因子變化極為複雜，因而N_2O之生成量高低因時空而異。單位施氮量與共生固氮能產生多少N_2O，雖目前倍感需要，但至目前為止尚無法提出眾人皆能接受之數據(Cole *et al.*，1995)。Mosier(1994b)於批評IPCC/OECD估算各國N_2O排放量公式時，提出一較簡化之公式：

N_2O-N 排放量(公噸 N_2O-N) = $\Sigma F \times 0.01$

F = 氮肥消耗量(公噸 N)

Bouwman(1996)認為Mosier(1994)所撰公式僅依美國地區之數據而建立，不足廣泛用於全球各地，其收集全球各地數據，包括日本水田排放N_2O量而建立

$E=1+0.0125 \times F$

E=N_2O排放量(Kg N_2O-N ha^{-1} yr^{-1})

F=施用氮肥量(Kg N ha^{-1} yr^{-1})

"1"為各耕地土壤之背景值，基於不施肥土壤背景值極少，僅找到五個測值而估算。由於其背景值取自英國草原土壤，Chao *et al.*(1998)報導此一背景值不適用於台灣土壤，主要因熱帶地區土壤有機質礦化速率較溫帶地區為高，同時亦證明係數0.0125對台灣地區坡地果園而言，略為偏高。

㈠合理化施肥

配合作物生長而供應所必需的氮素，及改善各種氮肥之肥效，此為N_2O減量策略中最有效之方法(Cole et al., 1995; Freney, 1997b)，即充分利用土壤與植體分析以決定氮肥之供應，減少休閒期以減少土壤中礦質氮素之累積，適當分次施用氮肥，以增加肥效，勿過量生產作物，以減少氮肥之施用。今後應仿美國各州玉米生產帶，立法限制肥料之濫用，但先決條件是充分瞭解作物對養分之需求量，並有完善土壤與植體分析地點與人力。

㈡緊縮氮素之移動

有機氮素在移動過程中，仍將進行N_2O之生成，因而禽畜糞之再利用，應盡量縮短儲存期，最好能結合作物與作物生產系統，使生產之廄肥能儘早施用至土壤供作物吸收利用，同時植物殘體中氮素儘量留置在原生產地。

㈢發展先進施肥技術

Mosier *et al.* (1996), Freney (1997b) 及 Cole *et al.* (1995)均認為利用硝化抑制劑為減少N_2O-N生成較佳方法之一，所以硝化抑制劑及尿素酵素抑制劑，包括Dicyandiamide、nitrapgrin、包被石腊之CaC_2、裹硫尿素、phenyl hosphorodiamide、N(n-butyl) thiophosphoric triamide等等。在本省條件下，筆者測試nitrapgrin與Dicyandiamidate對抑制硝化作用之效果僅維持1-4週，但對N_2O之生成尚未測試，其它包括控制釋放氮肥，葉面施肥及配合季節雨而用不同形式之氮肥(Cole *et al.*, 1995)。

㈣適當耕犁法、灌溉與排水

耕犁、排、灌水皆影響土壤中有機質之礦化速率，硝化作用與脫氮作用，一般而言本省農田脫氮作用生成N_2O之機率高於硝化作用(趙, 1998)，因而應如何保持土壤濕度，施用氮素如何配合作物生長，以減少N_2O生成，有待日後研究解決之道。

柒、結　語

農業生產上(包括畜牧)每年排放之溫室氣體，所增加之輻射溫暖作用(radiative forcing)之比例，佔全球每年人為增加輻射溫暖作用之20％(Cole *et al.*, 1995)，其中最主要的為氧化亞氮與甲烷。農業生產所排放之N_2O與CH_4，依次佔全球總人為N_2O與CH_4排放量之70％與50％(Cole *et al.*, 1995)。以CO_2而言，雖土壤亦排放，但作物經光合作用而固定的量往往大於排出量，以淨值來看應可視為減量源，特別是森林之培育更是有助大氣中CO_2之減量，此外減少農地犁田次數，以減少土壤有機質之礦化，將植物殘體埋回土壤，以增加或維持土壤有機質之含量，期將大氣中的CO_2經植物光合作用而貯存於土中。但N_2O與CH_4自土壤排放至大氣，在農業生產上是不可避免的，僅可在減量策略方面著墨，如水稻品種之改良，灌排水之管理以減少CH_4之生成與排放，合理化施肥，硝化與尿素水解抑制之開發及適宜的田間管理，以減少氮肥由土壤中排放。依目前的科技估算約可下降N_2O排放量之9-26％。目前國內已有部分研究人員從事溫室氣體減量措施之研究但幅度太小，可能難以配合國際社會之需求，今後因如何加強此方面研究，以配合此種國際情勢之需要。此外農民除非能得到更佳之利潤，否則不會自動自發的去設法減少具有溫室效應氣體之排放，如何誘導農民推行上述減少溫室氣體排放量之措施。有待全體農業研究人員思量與提供解決之道。

參考文獻

王一雄. 1997. 台灣北部土壤之二氧化碳釋放及其影響因子。p.195-206。呂世宗等編。台灣地區大氣環境變遷。台大全球變遷中心。台北。

王銀波　謝學武. 1997. 台灣中、南部水稻田、旱田、濕地、林地及坡地土壤甲烷之釋放及其影響因子。p.99-121。呂世宗等編。台灣地區大氣環境變遷。台大

全球變遷中心。台北。
王銀波 謝學武. 1998. 台灣中、南部坡地果園與森林土壤甲烷之釋放及其影響因子。p.34-53。呂世宗等編。台灣地區大氣環境變遷(三)。台大全球變遷中心。台北。
台灣省農業年報。1996。台灣省政府農林廳。
呂世宗 柳中明 楊盛行. 1998. 台灣地區大氣環境變遷(III)。
台大全球變遷中心。
柳中明. 1997. 京都氣候的談判的爭議點。全球變遷通訊雜誌。16:14-15。
陳信偉 顏瑞泓 王一雄. 1998. 台灣北部土壤之二氧化碳釋放及其影響因子。p. 133-141。呂世宗等編。台灣地區大氣環境變遷(三)。台大全球變遷中心。台北。
彭德昌 黃山內. 1998. 台灣東部水田土壤甲烷之釋放及其影響因子。p.314-332。呂世宗等編。台灣地區大氣環境變遷(三)。台大全球變遷中心。台北。
楊秋忠. 1997. 台灣中部及南部溫室效應氣體釋放及控制之環境因子之研究。全球變遷通訊誌。14:4。
楊秋忠 劉智文. 1998. 台灣中部及南部溫室效應氣體釋放及控制之環境因子之研究。p.54-69。呂世宗等編。台灣地區大氣環境變遷(三)。台大全球變遷中心。台北。
趙震慶. 1996. 水田之N_2O釋放：無機氮肥與水稻品種之效應。中華農學會報新174：111-133。
趙震慶. 1995. 台灣中、補南部水田土壤氧化亞氮之釋放及其影響因子。八十四年度國科會環發計畫成果發表會論文摘要集。p.378。國科會環發會。民國八十四年十月三、四日，台北市台大思亮館國際會議廳。
趙震慶. 1995. 台灣中、南部水田土壤氧化亞氮之釋放及其影響因子。八十四年度國科會環發計畫成果發表會論文摘要集。p.378。國科會環發會。民國八十四年十月三、四日，台北市台大思亮館國際會議廳。
趙震慶. 1997. 台灣中部及南部分水稻田、旱田、濕地、林地及坡地果園土壤氧化亞氮之釋放及其影響因子。台灣地區大氣環境變遷之研究成果發表會論文集。p.173-194。台大全球變遷與農化系。民國八十六年七月十九日，台北市台大全球變遷中心。
趙震慶. 1998. 台灣中、南部坡地果園與森林土壤氧化亞氮之釋放及其影響因子。台灣地區大氣環境變遷之硏究成果發表會論文集。p.118-132。台大全球變遷與農化系。民國八十七年二月二十日，台北市台大全球變遷中心。
劉銘龍. 1997. 因應二氧化碳管制不應成為我國繼續發展核能之藉口。全球變遷通訊雜誌，16:11-12。
賴朝明. 1995. 氧化亞氮之釋放及其影響因子：1.台灣北部及東部水田土壤氧化亞氮之釋放及其影響因子。八十四年度國科會環發計畫成果發表會論文摘要集。p.380-381。國科會環發會。民國八十四年十月三、四日，台北市台大思亮館國際會議廳。
賴朝明 鍾仁賜 林瑞蓉. 1996. 堆肥與土壤水份對土壤氧化亞氮釋出之影響。中華生質能源學會第十六屆會員大會手冊。p.25。中華生質能源學會第十六屆會員大會，台北市台灣大學。
賴朝明. 1996. 台灣北部濕地、旱田及蔬菜園氧化亞氮之釋放及其影響因子。民國八十五年度國科會環發會計畫成果發表會論文摘要集。p.439。國科會環發會。台北市台灣大學。
賴朝明. 1997. 台灣北部水稻田、旱田、濕地、林地及垃圾掩埋場氧化亞氮之釋放及其影響因子。台灣地區大氣環境變遷之研究成果發表會論文集。p.383-400。台大全球變遷與農化系。民國八

十交年七月十九日，台北市台大全球變遷中心。

賴朝明. 1997. 台灣地區氧化亞氮及二氧化碳釋放及其影響因子。全球變遷通訊雜誌 14:31-32。

賴朝明. 1998. 台灣北部旱田、森林土壤及垃圾掩埋場氧化亞氮之釋放及其影響因子。台灣地區大氣環境變遷之研究成果發表會論文集。p.105-117。台大全球變遷與農化系。民國八十七年二月二十日，台北市台大全球變遷中心。

謝學武 王銀波. 1995. 台灣中部地區水稻田之甲烷釋放氣候變遷與農業生產。中國農化學會。行政院農委會 101-115。

譚鎮中. 1997. 台灣中、南部水田土壤二氧化碳之釋放及其影響因子。p.209-225。呂世宗等編，台灣地區大氣環境變遷.。台大全球變遷中心，台北。

Aselmann, I. and P.J. Crutzen. 1989. Global distribution of natural freshwater wetlands and rice paddieds, their net primary productivity,seasonality and possible methane emissions.J.Atmos. Chem. 8:307-358.

Amthor, J. S. 1991. Respiration in future, high -CO_2 world. Plant Cell Environ. 14:13-20.

Baker, J. T., F. Laugel, K. J. Boote and L. H. Allen Jr. 1992. Effects of daytime carbon dioxide concentration on dark respiration in rice. Plant Cell Environ. 15:231-239.

Bartlett, K. and R.C. Hariss. 1993. Review and assessment of methane emissions from wetlands. Chemosphcrc. 26:261-320.

Battle, M., M. Bender, T. Sowers, P. P. Tans, J. H. Buter, J. W. Elkins, T. Conway, N. Zhang, P. Lang and A.D. Clarke. 1996. Atmospheric gas concentrations over the past century measured in air from firn at the South Pole. Nature 383: 231-235.

Beauchamp, E. G. 1997. Nitrous oxide emission from agricultural soils. Can. J. Soil Sci. 77:113-123.

Bender, M. and R. Conrad. 1994 .Microbial oxidation of methane, ammonium and carbon monoxide, and turnover of nitrous oxide and nitric oxide in soil. Biogeochem. 27:97-112.

Bouwman, A. F. 1990a. Introduction. p.25-32. *In*: A. F. Bouwman (ed.) Soil and the greenhouse effect. John Wiley and Sons, New York, USA.

Bouwman, A. F. 1990b. Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. p.61-127. *In*: A. F. Bouwman (ed.) Soils and the greenhouse effect. John Wiley and Sons, New York, USA.

Bouwman, A. F. 1996. Direct emission of nitrous oxide from agriculture soils. Nutri. Cycle. Agroecosys. 46:53-70.

Bradbury, N. J. and D. S. Powlson. 1994. The potential impact of global environmental change on nitrogen dynamics in arable systems. p.138-153. *In* : Rounsevell, M. D. A. and P. J. Loveland (eds.) soil Responses to Climate Change. Springer -Verlag, Berli Jn.

Bremner, J. M. 1997. Sources of nitrous oxide in soils. Nutri. Cycl. Agroecosystem. 49: 7-16.

Bremner, J. M. and A. M. Blackmer. 1978. Nitrous oxide emission from soils during nitrification fertilizer nitrogen. Science 199: 295-296.

Cicerone, R. J. 1989. Analysis of sources and sinks of atmospheric nitrous oxide (N_2O). J. Geophys. Res. 84:18265-182741.

Chao, Chen-Ching and C. C. Young. 1996. Nitrou oxide emission from agricultural

soils in central and southern Taiwan. p. 112-131, *In*: H-C Lin *et al.* (eds.) Proceedings of SCOPE/ICSU Nitrogen workshop: The effect of human disturbance on the nitrogen cycle in Asia. SCOPE/Academia Sinice, Taipei, Taiwan, ROC.

Chao, C. C., W. L. Chao and C. C. Young. 1997. Nitrous oxide emission from soils of various ecosystems in central and southern on Atmospheric Chemistry and Future Global Environment. p. 218-221, International Global Atmospheric Chemistry, Nagoya, Japan, November 11-13.

Chao, C. C., C. C. Young, Y. P. Wang and W. L. Chao 1998. Diurnal and seasonal nitrous oxide fluxeo in soil from hardwood forest and different agroecosystems of Taiwan. Biol. Fertil. Soils(submitted).

Cole, V., C. Cerri, K. Minami, A. Mosier, N. Rosenberg and D. Sanerback. 1995. Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emission. p. 745-771. *In*: R. A. Houghton *et al.* (eds.) Climate chage. Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K.

Conrad, R. 1989. Control of methane production in terrestrial ecosystems p.39-58. *In*: M. O. Andrea and D. S. Schimel(eds) Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. John Wiley and Son Ltd. New York, USA.

Conroy, J. and P. Hocking. 1993. Nitrogen nutrition of C_3 plant at elevated atmospheric CO_2 concentrations. Physiol. Plant. 89:570-576.

Davidson, E. A. 1994. Climate change and soil microbial processes:secondary effects are hypothesized from better known interacting primary effects. p.155-168. *In*: Roun- sevell, M. D. A. and P. J. Loveland(eds) Soil Responses to Climate Change. Springer-Verlag, Berlin.

Delwich, C. C. and R. J. Cicerone. 1993. Factors affecting methane production under rice. Global Biogeochem. 7:143-155.

Dickinson, R. E. and R. J. Cicerone. 1986. Future global warming from atmospheric trace gases. Nature 319:109-115.

Duxbury, J. M. and A. R. Mosier. 1993. Status and issues concerning agricultural emission of greenhouse gases. p.229-258. *In*: Kaiser, H. M. and T. E. Drennen (eds.) Agricultural Dimensoils of Global Climate Change. St. Lucie Press, Delray Beach, Florida .

Ehhalt, D. H. and U. Schmidt. 1978. Sources and sinks of atmospheric methane of atmospheric methane.PAGEOPH. 116: 452-464.

Frenzel, P., F. Rothfuss and R. Conrad. 1992. Oxygen profiles and methane turnover in a flooded rice microcosm. Biol. Fertil. Soils 14: 84-89.

Freney, J. R. 1997a. Emission of nitrous oxide from soils used for agriculture. Nutri. Cycl. Agroecosystem. 49:1-6.

Freney, J. R. 1997b.Strategies to reduce Gaseous emissions of nitrogen from irrigated agriculture. Nutri. Cycl. Agroecosys. 48:155-160.

Grant, R. F. 1995. Mathematical modeling of nitrous oxide evolution during nitrification. Soil Biol. Biochem. 27:1117-1125.

Grotch, S. L. 1988. Regional Intercomparisons of General Circulation Model Predictions and Historical Climate Data. US Dept. of Energy Report TR 041, Carbon Dioxide Research Division, Washington, D. C. DOE/NBB-0084, 291

p.

Gutowski, W. J., D. S. Gulzler, D. Portmand and W. C. Wang. 1998. Surface Energy Balance of Three General Circulation Models: Current Climate and Response to Increasing Atmospheric CO_2. U.S. Dept. of Energy, Carbon Diode Research Division, Washington, D. C. DOE/ER/ 60422-H1, 119p.

Holland, E. A. and J. F. Lamarque. 1997. Modeling bio-atmosphere couping of the nitrogen cycle through NOx emissions and NOy. deposition. Nutri. cycl. Agroecosys. 48: 7-24. 1995.

Horie, T., H. Nakagawa, H. G. S. Centeno and N. J. Kropff. The rice crop simulation model SIMRIW and its testing. *In*: Mattews, R. B. et al(eds.) Modeling the Impact of Climate Change on Rice Production in Asia, pp.51-66. CAB International, Oxon. UK.

Horino, T. 1990. Mineral contents and the eating quality of rice grain. Japan. J. Crop Sci. 59:605-611.

Huang, S. N. 1990. Production and emission of methane from experimental paddy soils. Taichung District Agricultural Improvement Station, Changhua, Taiwan R.O.C.

Imai, K. 1995. Physiological response of rice to carbon dioxide, temperature, and nutrients. p. 252-257. *In*: Peng, S *et al.* (eds.) Climate Change and Rice. Springer, Berlin.

IPCC. 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventions: Workbook, Module 4, p.63.

IPCC. 1992. Climate Change 1992. *In*: Houghton, J. T. et al. (eds.) The Supplementary Report to IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press. Cambridge. UK.

Kropff, M. J., R. B. Matthews, H. H. van Laar and H. F. M. ten Berge. 1995. The rice model ORYZAI and its testing. p.27-50. *In:* Mattews, R. B. et al(eds.) Modeling the Impact of Climate Change on Rice Production in Asia. CAB International, Oxon. UK.

Kimura, M. H. Murakami and H. Wada. 1991. CO_2, H_2, and CH_4 production in rice rhizosphere,Soil Sci. Plant Nutr. 37:55-60.

King, G. M, P. Roslev and H. Skovgaard. 1990. Distribution and rate of methane oxidation in sediments of Florida Everglades. Appl. Environ. Microbial. 56:2902-2911.

Kludze, H. K., R. D. DeLaune and W. H. Patrick, Jr. 1993. Aerenchyma formation and methane and oxygen exchange in rice. Soil Sci. Sec. Am. J. 57:386-391.

Knowles, R. 1982. Denitrification. Microbiol. Rev. 46:43-70.

Lai, C. M. 1995. Research of greenhouse gases in Taiwan. Presented at Regional Training on Greenhouse Gas Flux Measurement, held by the CSIRO Center for Environmental Mechanics and PAGASA, Canberra, Australia, October 15-25.

Lai, Chao-Ming and Wan-Lin Tseng. 1996. Nitrous oxide emission from agricultural soils in northern Taiwan. Program and Abstracts of SCOPE Nitrogen Workshop. p.15, Held by the National Committee for SCOPE, ROC, Taipei, Taiwan, R.O.C.

Lai, C. M., W. L. Tseng, T. F. Chiang and R. R. Lin. 1997. Field measurement of nitrous oxide emissions from some paddy and upland fields in Taiwan. Program and Extended Abstracts of

International Symposium on Atmospheric Chemistry and Future Global Environment, p.23, held by International Global Atmospheric Chemistry, Nagoya, Japan, November 11-13.

Lauren, J. G. and J. M. Duxbury. 1993. Methane emissions from flooded rice amended with a green manure. p.183-192. *In*: L. A. Harper et al(ed.) Agricultural ecosystem effects on trace gases and global climate change. Soil Sci. Amer., Inc. WI. USA.

Lindau, C. W. and P. K. Bollich. 1993. Methane emission from Louisiana first and ratoon crop rice. Soil Sci. 156:42-48.

Lindau, C. W., P. K.Bollich, R. D. Delaune, A. R. Mosier and K. F. Bronson. 1993. Methane mitigation in flooded Lousiana rice fields Biol.Fertil Soil. 15:174-178.

Lindau, C. W., R. D. DeLaune, D. P. Alford and H. K. Kludge. 1994. Methane production and mitigation in rice. p.79-86. *In*: K. Minami et al. CH_4 and N_2O. Yokendo pub., Tokyo, Japan.

Long, S. P. 1991. Modification of the response of the response of photosynthetic productivity to rising temperature by atmospheric CO_2 concentrations: Has its improtance been underestimated? Plant Cell Environ. 14:729-739.

Manabe, S. and R, T. Wetherland. 1987. Large scale changes of soil wetness induced by an increase in atmospheric carbon dioxide. J. of Atmospheric Science 44:1211-1235.

Matthews, R. B., T. Horie, M. J. Knopff, D. Bachelet, H. G. Centeno, J. C. Shin, S. Mohandass, S. Singh, D. Zhu and M. H. Lee. 1995. A regional evaluation of the effect of future climate change on rice production in Asia. p.95-139. *In*: Mattews, R. B. et al (eds.) Modeling the Impact of Climate Change on Rice Production in Asia. CAB International, Oxon. UK.

Mausbach, M. J. and L. D. Spivey. 1994. Significance of two soil components of the pedospher as carbon sinks. p.229-230. *In*: Rounsevell, M. D. A. and P. J. Loveland (eds.) Soil Responses to Climate Change. Springer-Verlag, Berlin.

Mosier, A. R. 1994b. Nitrous oxide emissions from agricultural soils. Fert. Res. 37:191-200.

Masood, E. 1997. Kyoto agreement creates new agenda for climate research Nature 390: 649-650.

Mosier, A. R., J. M. Duxbury, J. R. Freney, O. Heinemeyer and K Minami. 1996. Nitrous oxide emissions from agricultural fields:Assessment, measurement and mitigation. Plant and Soil 181:95-108

Morison, J. I. L. 1989. Plant growth in increased atmospheric CO_2. p.228-244. *In*: Fantechi, R. and A. Ghazi (eds.) Carbon Dioxide and Other Greenhouse Gases: Climatic and Associated Impacts. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Mosier, A. R. 1994 a. Nitrous oxide summary. p.135-139, *In*: K. Minami et al (eds.), CH_4 and N_2O: Global emissions and controls from rice fields and other agricultural and industrial sources, Yokendo Pub., Tokyo.

Mosier, A. R., J. M. Duxbury, J. R. Freney, O. Heinemeyer and K. Minami. 1996. Nitrous oxide emission from agricultural fields: Assessment, measurement and mitigation. Plant and Soil 181: 95-108.

Muller, C., R. R. Sherlock and P. H. Williams. 1997. Mechanistic model for nitrous oxide emission via nitrification and

denitrification. Biol. Fertil. Soils 24:231 -238.

Neue, H. U., P. Becker-Heidmann and H. W. Scharpenseel. 1990. Organic matter dynamics, soil properties, and cultural practices in rice lands and their relationship to methan production. p. 457-466, *In*: A. F. Bouwman(ed.) Soil and the greenhouse effect. John Wiley and Sons, NY. 87.

Oeschger, H. 1989. Information on the Histopy of atmospheric CO_2 and the carbon cycle from ice cores. p.40-54. *In:* Fantechi, R. and A. Ghazi (eds.) Carbon Dioxide and Other Greenhouse Gases: Climatic and Associated Impacts. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Oremland, R. S. 1988. Biogeo- chemistry of methaogenic bacteria. p.641-705. *In:* A. J. B. Zehnder(ed.) Biology of anaerobic microorganisms, John Wiley and Sons, New York, USA.

Paul, E. A. and F. E. Clark. 1989. Soil microbiology and biochemistry, Academic Press, Inc., San Diego, USA.

Ramanth V., R. J. Cicerone, H. B. Singh and J. T, Kiehl. 1985.Trace gases trends and their potential role in climate change. J. Gsophs. Res. 90:5547-5566.

Sass, R. L., F, M. Fisher, S. T. Lewis, M. F. Jund and F. T. Turner. 1994. Methane emission from rice field: Effect of soil properties. Global. Biogeochem. Cycle 8: 135-140.

Shannon, R. D. and J. R. White. 1994. A three -year study of controls on methane emission from two Michigan peatlands. Biogeochem. 27: 35-60.

Trolldenier, G. 1995. Methanogenesis during rice growth as related to the water regime between crop seasons. Biol. Fertil. Soils. 19: 84-86.

Van Amstel, A, R. and R. J. Swart. 1994. Methane and nitrous oxide emissions: An introduction. Fert. Res. 37:213-225.

Van der Gon, D. H. A. C. and H. IJ. Neue. 1995. Influence of organic matter incorporation on the methane emission from a wetland rice field. Global Biogeochem. 1:68-128.

Van Veen, J. A. and E. A. Paul. 1981. Organic carbon dynamics in grassland soils. I. Background information and computer simulation. can. J. Soil. Sci. 61:185-201.

Tortoso, A. C. and G. L. Hutchinson. 1990. Contributions of autotrophic and heterotrophic nitrifiers to soil NO and N_2O emissions. Appl. Environ. Microbiol. 56: 1799-1805.

Wang, W. C., Y. L. Yung, A. A. Lacis, T. Mo and J, E. Hansen, 1976. Green house effects due to man-made pertubations of trace gases. Science 194:685-690.

Wang, Z. P., R. D. Delaune, P. H. Masscheleyn and W. H. Patrick, Jr. 1993. Soil redox and pH effects on methane production in a flooded rice soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:382-385.

Whiting, G. L. and J. P. Chanton. 1992. Plant-dependentCH4 emission in a subarctic Canadian fen. Global Biogeochem. 6:225 -231.

Wolfe, D. W. and J. D. Erickson. 1993. Carbon dioxide effects on plants: uncertainties and implications for modeling crop response to climate chant. p.153-178. *In:* Kaiser, H. M. and T. E. drennen (eds.) Agricultural Dimensions of Global Climate Change. St. Lucie Press, Delray Beacg, Florida.

Yagi, K. and K. Minami. 1990. Effects of organic matter application on the meth-

ane emission from some Japanese paddy fields. Soil Sci. Plant Nutr. 36:599-610.

Yagi, K. and K. Minami. 1993. Spatial and temporal variations of methane flux from a rice paddy field. p.353-368. *In*: R. S. Ormland (ed.) Biogeochemistry of global change, Chapman and Hall, NY. USA.

Yang, S. S. 1998. Methane emission from agriculture in Taiwan area. Environ. Geochem. Health 18(in press).

Zumft, W. G. 1997. Cell biology and molecular basis of denitrification. Microbiol. Molecul. Biol. Rev. 61: 533-616.

Zumft, W. G. and P. M. H. Kroneck. 1990. Metabolism of nitrous oxide. p.37-55. *In*: N. P. Revsbech and J. Sorensen (eds.) Denitrification in soil and sediment. Plenum Press, New York. USA.

Chapter 7 The effect of crops production on the greenhouse gas emissions and agricultural option for mitigation of greenhouse gas emissions

Yin-Po Wang, Chen-Ching Chao and Chen-Chung Tan
Department of Soil and Environmental Sciences ,National Chung Hsing University
Chao-Ming Lai and Shang-Shyng Yang
Department of Agricultural Chemistry,National Taiwan University
Shan-Ney Huang
Tainan District Agricultural Improvement Station
Rey-May Liou
Department of Environmental Engineering and Health, Chia-Nan College of Pharmacy

ABSTRACT

Crops production contributes significantly to anthropogenic emissions of carbon dioxide, methane and nitrous oxide. Current data shown that, Agriculture accounts for 20% of the annual increase in anthropogenic greenhouse warming. Most of this is due to methane and nitrous oxide ; agriculture produces about 50 and 70%, respectively, of their anthropogenic emission. The annual emissions of CH_4 and N_2O were about 35,000 CH_4 tons and 10,492 tons N_2O-N, respectively, in Taiwan area. Crop production may increase with increasing of CO_2 level by stimulating photosynthetic rate. However plant respiration, transpiration, water use efficiency, growth development and the quality of the crops may be positively or negatively altered by increasing CO_2 level and warming. In addition, CO_2 level and warming may also affect soil moisture status, nutrient applying capacity, soil temperature and so on. Significant mitigation in CO_2 from agricultural can be achieved through reducing fossil fuel usage, for example, minimum tillage, irrigation scheduling, solar drying of crops, improved fertilizer management and boifuel production, in-crease the carbon pooi in soil or on soil surface. The CH_4 emission from soils, the major factor is water immersion field soil, e.q. paddy soil and after heavy rain. Significant decrease in CH_4 emission from agriculture can be achieved through better management of paddy rice fields, alternative treatment and management of animal wastes. Agricutural N_2O emission are thought to arise from fertilization of soils with mineral N and animal manures, and mineralization of soil organic matter, N_2O emission from agriculture could be reduced by improving agriculture management with available techniques, for example, improving fertilizer use efficiency, applications of nitrification and urease inhibitors, integrating crop and animal forming et al. Future studies are: 1) Estimation of CO_2, CH_4 and N_2O emissions from various important soils of Taiwan, 2) Study of their mitigations , 3) Comparison of field measurement

data of CO_2, CH_4 and N_2O emissions with those by IPCC method, and 4) Development of suitable models to estimate CO_2, CH_4 and N_2O emissions in Taiwan.

Key wards: Carbon dioxide, Methane, Nitrous oxide, Agriculture, Emission, Mitigation.

氣候變遷對農作物生產之影響
第9章　氧化亞氮對農作物生產之影響及其
　　因應策略　140-149, 1998

第九章 氧化亞氮對農作物生產之影響及其因應策略

賴朝明　楊盛行
國立台灣大學農業化學系

摘要……142
壹、前言……142
貳、氧化亞氮之產生……142
參、氧化亞氮對農作物生產之影響……143
肆、因應策略……143
伍、結語……144
陸、參考文獻……144
英文摘要……149

第九章 氧化亞氮對農作物生產之影響及其因應策略

賴朝明　楊盛行
國立台灣大學農業化學系

摘　　要

大氣中氧化亞氮濃度之增加，會引起氣溫之上升，進而影響農作物之生產，屬於間接影響，如(1)種植制度，多熟制的界限北移，(2)複種指數增加，(3)水稻生育期縮短，(4)越冬期縮短，(5)作物越夏條件改變。此外，氣溫增加，農作物蟲害發生會增加，農藥用量亦會增加。而氣溫增加，土壤施氮肥量亦會相對隨之增加。文獻上尚無氧化亞氮對農作物生產直接影響之報告。而其因應策略主要為提高施用氮肥之利用率，包括：配合作物需要提供氮肥、緊縮氮素之循環、使用先進肥料技術、及適當耕犛、灌溉與排水等，此外還有減少森林砍伐的速率、避免於動物飼料中添加過量之蛋白質以及避免社會對蛋白質過量消耗等策略，亦可減少氧化亞氮產生，進而減少氧化亞氮對農作物生產之影響。

關鍵詞：氧化亞氮、農作物生產、溫室氣體、全球變遷、因應策略。

壹、前言

氧化亞氮(nitrous oxide, N_2O)為大氣的成分之一，知之已久(超過50年)(Adel, 1939)，其含量由工業革命之前的280 ppb，已逐年上升至目前的310 ppb左右，且每年以0.25%的速率上升中。其每分子的輻射效應為每分子二氧化碳的二百倍，且其存於大氣中的時間長達150年。此外，氧化亞氮會催化破壞同溫層中的臭氧層，使進入生物圈中的紫外線增加；因此，氧化亞氮在大氣中的濃度雖不及其他「溫室效應」氣體(如二氧化碳、甲烷)的濃度高，但它的重要性卻是不容被忽視的。根據Schlesinger (1991)之歸納，目前對N_2O之瞭解其源(source)與匯(sink)間仍無法平衡，而有待吾人繼續深入研究(Schlesinger, 1991)。近年來，氧化亞氮方面的研究(Bremner, 1997; Butterbach-Bahl *et al.*, 1997; Chen *et al.*, 1997; Houghton *et al.*, 1995; Hua *et al.*, 1997; Hubbard and Flores-Mendoza, 1995; Jambert *et al.*, 1997a, 1997b; Matson, 1997; Minami, 1997; Mosier *et al.*, 1997; Tsuruta *et al.*, 1997; Wang and Zhao, 1995; Watanabe *et al.*, 1997; Whyte, 1995; Xing and Zhu, 1997; Yoh *et al.*, 1997)日漸增多，其減量之研究(Cole *et al.*, 1995; Freney, 1997; Sathaye and Meyers, 1995)亦漸受重視。氧化亞氮對農作物生產影響之文獻幾無，但全球變遷與農業關係之文獻則較多(林, 1995; 楊, 1995; Follett, 1993; Iglesias *et al.*, 1996; Rosenzweig and Parry, 1994; Scholes and Van Breemen, 1997; Stooksbury and Michaels, 1994; Wang and Zhao, 1995; Whyte, 1995; Wijeratne, 1996; Yue *et al.*, 1997)。本章主要的重點是說明氧化亞氮對農作物生產之直接影響與間接影響及其因應之各種策略，以供各界參考。

貳、氧化亞氮之產生

土壤中氧化亞氮之產生進而釋入大氣中，除了少量(如果有的話)藉由化學脫氮作用(chemodenitrification)，主要還是藉由以下兩個微生物的過程：

硝化作用(nitrification)：

$$NH_4^+ \longrightarrow NH_2OH \longrightarrow NO_2^- + NO_3^- \quad (NH_2OH \rightarrow N_2O)$$

脫氮作用(denitrification)：

$$NO_3^- \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow N_2O \longrightarrow N_2$$

而加入土壤中氮之含量，通常亦會增加 N_2O 自土壤之釋出。此等方式包括(1)大氣之沉降，(2)化學肥料，(3)動物廄肥及植物殘體，(4)生物性固氮作用，(5)土壤有機質之礦化(Bouwman, 1990)。而影響土壤中 N_2O 產生之重要因子包括土壤水分含量、溫度、硝酸鹽及銨鹽的濃度、有機碳含量及 pH。此外由於這些物理、化學、生物性因子彼此間之作用非常複雜，造成上述農業系統中 N_2O 之釋出通量在時間上及空間上均有變異(Bremner and Blackmer, 1978; Clayton et al., 1994)。著者在台灣亦有若干相關研究成果(Lai, 1995; Lai *et al.,* 1996; Lai *et al.,* 1997)，可供參考。

在農業生產之體系中，氧化亞氮之產生，還有以下兩種方式：生質燃燒(biomass burning)及土地使用改變(land use change)，後者如熱帶雨林改變為農業用地使用(Schlesinger, 1991)。

參、氧化亞氮對農作物生產之影響

一、直接影響

有關氧化亞氮對農作物生產之直接影響，這方面的研究尚未見及。反之，農作物生產對土壤氧化亞氮釋出之影響則甚多。因為如前節所述，土壤之氧化亞氮釋出，主要源自施用化學肥料、有機肥料以及生物性固氮作用。農作物之生產，通常會施用化學肥料或有機肥料，因而造成了氧化亞氮之釋出。

二、間接影響

氧化亞氮濃度增加後，氣溫會增加(過去一百年來，氣溫大約上升了 0.5 ℃)，進而會影響：(1)種植制度，多熟制的界限北移，(2)複種指數增加，(3)水稻生育期縮短，中國大陸地區每增高 1℃ ，生育期日數平均縮短 7-8 日，(4)越冬期縮短，(5)作物越夏條件改變，許多季節疏菜作物會因高溫而不能生產。此外，氣溫增加，農作物蟲害發生會增加，因為氣溫增加會使害蟲繁殖量增加，且發生世代數增加。根據害蟲增加的世代數估算，溫度每增高 2℃ 時，農藥用量將增加 1/5至1倍，溫度每增高 4℃ 時，農藥用量將增加 1/3至 2倍(王及徐, 1996)。溫度增高，速效氮肥的氮釋放量增大，在 15-28℃ 下，溫度每增加 1℃ ，速效氮的釋放量增加約 4 %。此外，溫度增高，速效氮的釋放速率亦加快。化肥施用量越大，速效氮的釋放量即越大；故氣溫增加，土壤施氮肥量亦會相對隨之增加(王及徐, 1996)。

氣溫增加對茶樹(巫, 1996; 鄭, 1996)、蓮霧(郭, 1996)、甘藷(賴等, 1996)、桑樹(林等, 1996)、盤固草(許等, 1996)、小白菜(翁等, 1996)、水稻(羅及陳, 1996)、大豆(楊等, 1996)、龍眼(章, 1996)等農作物之生長及產量亦均有所影響。高橋等人亦曾整理有關氣候變化與糧食生產關係的文獻(高橋及吉野, 1983)，指出「氣溫」與糧食作物生產有密切關係；特別是南亞、東南亞和東亞各國，近代氣候變化對其糧食生產有很大的影響。

目前亦有許多文獻(Amien *et al.,* 1996; Barrow and Semenov, 1995; Buan *et al.,* 1996; Budyko and Menzhulin, 1996; Haskett *et al.,* 1995; Holland and Lamarque, 1997)，利用模式模擬氣候變化(包括氣溫、雨量)對農作物產量之影響，但尚未見及利用模式模擬氧化亞氮濃度之改變對農作物生產之影響。

肆、因應策略

一、藉由氧化亞氮之減量措施來因應(Cole *et al.*, 1997; IPCC, 1996)

肥料氮的利用低效率是造成農業系統中 N_2O 產生之主要原因，因此任何提高肥料氮利用效率的策略，均可減少 N_2O 之產生，以下措施可以配合使用，為目前世界上通行之農業管理措施。

(一)配合作物之需要提供氮肥：

1.利用土壤/植體分析來決定肥料氮的需要。(可避免過量或不足氮肥之施用)

2.減少休耕期以限制礦質氮之累積。(可進一步在兩期作之間栽種覆蓋作物以吸收礦化氮)

3.調節氮肥分施時期。(依各作物之生理期對肥料之不同需要，決定各作物適當之分施時期)

4.在作物生產過盛地區，以氮肥施用量配合減產。(即減少氮肥用量，可減少 N_2O 之釋放)

(二)緊縮氮素之循環：

1.在植物之生產過程中，以廄肥之再利用整合動物與作物生產之系統。(儘量縮短廄肥製備、貯存、搬運及使用的時間)

2.留置植物殘體於原生產地。(可加速殘體之分解及氮素之循環並避免生質燃燒)

(三)使用先進肥料技術：

1.使用控制釋放或緩效性肥料(controlled release or slow release fertilizer)。[例如裹硫尿素(sulphur coated urea) (Craswell *et al.*, 1985)，可減少尿素肥料之損失及 N_2O 之釋放]

2.置肥料於土壤表面下面、或深施(Youngdahl *et al.*, 1986)、條施(Malhi and Nyborg, 1991)。(可增加肥料之利用率)

3.使用硝化作用抑制劑(nitrification inhibitors)。[例如 dicyandiamide, nitrapyrin,或 wax coated CaC_2；其中 wax coated CaC_2 應用於施尿素之玉米田、小麥田和水田時，証明其對硝化作用有抑制之效果(Minami, 1997; Mosier *et al.*, 1994)]

4.配合季節雨使用不同型式之肥料。

(四)適當耕犁、灌溉與排水(Rolston *et al.*, 1982)。

二、其他因應策略

比較有效的有以下三種：

(一)減少砍伐森林的速率。

(二)避免於動物飼料中添加過量的蛋白質。

(三)避免社會對蛋白質過量消耗。

伍、結　語

大氣中氧化亞氮濃度之增加會導致氣溫上升，進而影響農作物之生產，屬於間接影響，如(1)種植制度，多熟制的界限北移，(2)複種指數增加，(3)水稻生育期縮短，(4)越冬期縮短，(5)作物越夏條件改變。此外，氣溫增加，農作物蟲害發生會增加，農藥用量亦會增加。而氣溫增加，土壤施氮肥量亦會相對隨之增加。氧化亞氮濃度之增加對農作物生產之直接影響，文獻上尚未見及。至於其因應策略主要為提高施用氮肥之利用率，包括：配合作物需要提供氮肥、緊縮氮素之循環、使用先進肥料技術及適當耕犂、灌溉與排水等，此外還有減少森林砍伐的速率、避免於動物飼料中添加過量之蛋白質及避免社會對蛋白質過量消耗等，亦可減少氧化亞氮產生，進而減少氧化亞氮對農作物生產之影響。

陸、參考文獻

王修蘭 徐師華. 1996. 二氧化碳、氣候變化與農業氣象出版社，北京市.

巫嘉昌. 1996.「茶園間植田菁之微氣象對茶葉化學成分及品質之影響」p.357-368. 農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯. 台灣省農業試驗所，台中縣.

林洋三　林進財 張銘文 蘇紹璋. 1996. 桑葉

生產與氣象條件之關係. p.261-268. 農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯. 台灣省農業試驗所，台中縣.

林鴻琪. 1995. 台灣農業生產對氣候變遷因應之道. p.57-63. 氣候變遷與農業生產. 楊盛行編. 中國農業化學會及行政院農業委員會，台北市。

翁仁憲 漆匡時 許苑培 戴振洋 郭孚燿 林文助 楊文振 陳任芳. 1996. 氣象因子對不同地區小白菜生育之影響. p.277-286. 農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯. 台灣省農業試驗所，台中縣.

郭同慶. 1996. 氣溫對屏東地區冬季蓮霧生產之影響. p.243-250. 農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯. 台灣省農業試驗所，台中縣.

高橋浩一郎 吉野正敏. 1983. 氣候變化與糧食生產. 氣象出版社，北京市.

許福星 洪國源 鄭俊哲. 1996. 氣象因子及灌溉對盤固草生產力及乾草品質之影響. p.269-276. 農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯. 台灣省農業試驗所，台中縣.

章加寶. 1996. 氣象條件對龍眼流蜜及蜜蜂採蜜之影響. p.345-356. 農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯. 台灣省農業試驗所，台中縣.

楊純明 李裕娟 蘇慕容. 1996. 氣象因子對大豆生產之影響. p.313-330. 農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯. 台灣省農業試驗所，台中縣.

楊盛行. 1995. 氣候變遷與農業生產，p.65-83. 氣候變遷與農業生產，楊盛行編，中國農業化學會及行政院農業委員會，台北市。

鄭混元. 1996. 東南部茶區氣候條件對茶樹芽葉生育之影響. p.225-242. 農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯. 台灣省農業試驗所，台中縣.

賴永昌 李炳和 劉復誠. 1996. 氣象因子對甘藷塊根產量之影響. p.251-260. 農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯. 台灣省農業試驗所，台中縣.

羅正宗 陳一心. 1996. 氣象因子對水稻生育量及產量評估技術探討. p.287-296. 農業氣象、空氣污染與酸雨對農業生產影響及因應措施研討會論文專輯. 台灣省農業試驗所，台中縣.

Adel, A. 1939 Note on the atmospheric oxides of nitrogen. Astrophys. J. 90:627.

Amien, I., P. Rejekiningrum, A. Pramudia and E. Susanti. 1996. Effects of interannual climate variability and climate change on rice yield in Java, Indonesia. Water, Air, and Soil Pollution 92:29-39.

Barrow, E. M. and M. A. Semenov. 1995. Climate change scenarios with high spatial and temporal resolution for agricultural application. Forestry 68:349-360.

Bouwman, A. F. 1990. Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. p.62-127. *In*: Bouwman, A. F. (ed.) Soil and the Greenhouse Effect. John Wiley and Sons, New York.

Bremner, J. M. and A. M. Blackmer. 1978. Nitrous oxide: Emissions from soils during nitrification of fertilizer nitrogen. Science 199: 295-296.

Bremner, J. M. 1997. Sources of nitrous oxide in soils. Nutrient Cycling in Agroecosystems 49:7-16.

Buan, R. D., A. R. Maglinao, P. P. Evangelista and B. G. Pajuelas. 1996. Vulnerability of rice and corn to climate change in the

philippines. Water, Air and Soil Pollution 92:41-51.

Budyko, M. I. and G. V. Menzhulin. 1996. Climate change impacts on agriculture and global food production : options for adaptive strategies. p.107-203. *In* : J. B. Smith et al. (ed). Adapting to Climate Change: an International Perspective. Springer, New York.

Butterbach-Bahl, K., R. Gasche, L. Breuer and H. Papen. 1997. Fluxes of NO and N_2O from temperate forest soils: impact of forest type, N deposition and of liming on the NO and N_2O emissions. Nutrient Cycling in Agroecosystems 48:79-90.

Chen, G. X., G. H. Huang, K. W. Yu, J. Wu and H. Xu. 1997. Nitrous oxide and methane emissions from soil-plant systems. 1997. Nutrient Cycling in Agroecosystems 49:41-45.

Clayton, H., J. M. R. Arah and K. A. Smith. 1994. Measurement of nitrous oxide emissions from fertilized grassland using closed chambers. J. Geophys. Res. 99: 16599-16607.

Cole, V., C. Cerri, K. Minami, A. Mosier, N. Rosenberg and D. Sanerback. 1995. Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emission. p. 745-771. *In*: R. A. Houghton et al (eds.) Climate Chage. Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K.

Cole, C. V., J. Duxbury,. J. Freney, O. Heinemeyer, K. Minami, A. Mosier, K. Paustian, N. Rosenberg, N. Sampson, D. Sauerbeck and Q. Zhao. 1997. Global estimates of potential mitigation of greenhouse gas emissions by agriculture. Nutrient Cycling in Agroecosystems 49: 221-228.

Craswell, E. T., S. K. De Datta C. S. Weeraratne and P.L.G. Vlek. 1985. Fate and efficiency of nitrogen fertilizers applied to wetland rice. I. The Philippines. Fert. Res. 6:49-63.

Follett, R. F. 1993. Global climate change, U. S. Agriculture and carbon dioxide. J. Prod. Agric. 6:181-190.

Freney, J. R. 1997. Strategies to reduce gaseous emissions of nitrogen from irrigated agriculture. Nutrient Cycling in Agroecosystems 48:155-160.

Haskett, J. D., Y. A. Pachepsky and B. Acock. 1995. Estimation of soybean yield at county and state levels using GLYCIM: a case study for Iowa . Agron. J. 87:926 -931.

Holland, E. A. and J. -F. Lamarque. 1997. Modeling bio-atmospheric coupling of the nitrogen cycle through NO_x emissions and NO_y deposition. Nutrient Cycling in Agroecosystems 48:7-24.

Houghton, J. T., L. G. Meira Filho, J. Bruce, H. Lee, B. A. Callander, E. Haites, N. Harris and K. Maskell. 1995. Climate Change 1994. p.27-28. Cambridge, New York.

Hua, X., X. Guangxi, Z.-C. Cai and H. Tsuruta. 1997. Nitrous oxide emissions from three rice paddy fields in China. Nutrient Cycling in Agroecosystem 49:23-28.

Hubbard, K. G. and F. J. Flores-Mendoza. 1995. Relating Unites States crop land use to natural resources and climate change J. Climate 8:329-335.

Iglesias, A., Lin Erda and C. Rosenzweig. 1996. Climate change in Asia: a review of the vulnerability and adaptation of crop production. Water, Air and Soil Pollution 92:13-27.

Intergovenmental Panel on Climate Change (IPCC). 1996. Climate Change: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate

Change: Scientific-Technical Analyses. R. T. Waston, M. C. Zingowera and R. H. Moss (eds), Cambridge University Press, Cambridge.

Jambert, C., D. Serca and R. Delmas. 1997a. Quantification of N-losses as NH_3, NO and N_2O and N_2 from fertilized maize fields in southwestern France. Nutrient Cycling in Agroecosystems 48:91-104.

Jambert, C., R. Delmas, D. Serca, L. Thouron, L. Labroue and L. Delprat. 1997b. N_2O and CH_4 emissions from fertilized agricultural soils in southwest France. Nutrient Cycling in Agroecosystems 48:105-114.

Lai, C. M. 1995. Research of greenhouse gases in Taiwan. Presented at Regional Training on Greenhouse Gas Flux Measurement, held by the CSIRO Center for Environmental Mechanics and PAGASA, Canberra, Australia, October 15-25.

Lai, C. M. and W. L. Tseng. 1996. Nitrous oxide emission from agricultural soils in northern Taiwan. Program and Abstracts of SCOPE Nitrogen Workshop, p.15, held by the National Committee for SCOPE, ROC, Taipei, Taiwan. R.O.C., July 29-Auguest 2.

Lai, C. M. ,W. L. Tseng, T. F. Chiang and R. R. Lin. 1997. Fild measurement of nitrous oxide emissions from some paddy and upland field in Taiwan. Program and Extended Abstracts of International Symposium on Atmospheric Chemistry and Future Global Enviroment. p.23. International Global Atmospheric Chemistry, Nagoya, Japan, Novermber 11-13.

Malhi, S. S. and M. Nyborg 1991. Recovery of ^{15}N-labelled urea: influence of zero tillage, and time and method of application. Fert Res 28:263-269.

Matson, p. 1997. NOx emission from soils and its consequences for the atmosphere and biosphere: critical gaps and research directions for the future. Nutrient Cycling in Agroecosystems 48:1-6.

Minami, K. 1997. Atmospheric methane and nitrous oxide: sources, sinks, and strategies for reducing agricultural emissions. Nutrient Cycling in Agroecosystems 49:230-211.

Minami, K. 1997. Mitigation of nitrous oxide emission from fertilized soils. Program and Extended Abstracts of International Symposium on Atmospheric Chemistry and Future Global Enviroment, p., held by International Global Atmospheric Chemistry, Nagoya, Japan, Novermber 11-13.

Mosier, A. R., K. F. Bronson, J. R. Freney and D. G. Keerthisinghe. 1994. Use of nitrification inhibitors to reduce nitrous oxide emission from urea fertilized soils. p. 197-207. In: Minami K., Mosier A. and Sass R. (eds) CH_4 and N_2O: Global Emissions and Controls from Rice Fields and Other Agricultural and Industrial Sources, Yokendo Publishers, Tokyo.

Mosier, A. R., J. A. Delgado, V. L. Cochran, D. W. Valentine and W. J. Parton. 1997. Impact of agriculture on soil consumption of atmospheric CH_4 and a comparison of CH_4 and N_2O flux in subarctic, temperate and tropical grasslands. Nutrient Cycling in Agroecosystems 49:71-83.

Rosenzweig, C. and M. L. Parry. 1994. Potential impact of climate change on world food supply. Nature 367:133-138.

Rolston, D. E., A. N. Sharpley, D. W. Toy and

F. E. Broadbent. 1982. Field measurement of denitrification. III: Rates during irrigation cycles. Soil Sci Soc Am J 46: 289-296.

Sathaye J. and S. Meyers. 1995. Greenhouse gas mitigation assessment: a guidebook, Chap. 12. Kluwer. Dordrecht.

Schlesinger, W. H. 1991. The global cycles of nitrogen and phosphorus. p. 322-335. *In*: Biogeochemistry. Academic Press, San Diego.

Scholes, R. J. and N. van Breemen. 1997. The effects of global change on tropical ecosystems. Geoderma 79:9-24.

Stooksbury, D. E. and P. J. Michaels. 1994. Climate change and large area corn yield in the southeastern United States. Agron. J. 86:564-569.

Tsuruta, H., K. Kanda and T. Hirose. 1997. Nitrous oxide emission from a paddy field in Japan. Nutrient Cycling in Agroecosystems 49:51-58.

Wang F. T. and Z. C. Zhao. 1995. Impact of climate change on natural vegetation in China and its implication for agriculture. J. Biogeogr. 22:657-664.

Watanabe, T., T. Osada., M. Yoh and H. Tsuruta. 1997. N_2O and NO emissions from grassland soils after the application of cattle and swine excreta. Nutrient Cycling in Agroecosystems 49:35-39.

Whyte, I. D. 1995. The greenhouse effect and greenhouse gases. p.81-84. *In* : Climate Change and Human Society, Arnold, London.

Whyte, I. D. 1995. The impact of global warming on natural ecosystems and agriculture. p.141-171. *In* : Climate Change and Human Society, Arnold, London.

Wijeratne, M. A. 1996. Vulnerability of Srilanka tea production to global climate change. Water, Air and Soil Pollution 92:87-94.

Xing, G. X. and Z. L. Zhu. 1997. Preliminary studies on N_2O emission fluxes from upland soils and paddy soils in China. Nutrient Cycling in Agroecosystems 49: 17- 22.

Yoh, M., H. Toda, K. -I. Kanda and H. Tsuruta. 1997. Diffusion analysis of N_2O cycling in a fertilized soil. Nutrient Cycling in Agroecosystem 49:23-28.

Youngdahl, L. J., M. S. Lupin and E. T. Craswell. 1986. New developments in nitrogen fertilizers for rice. Fert Res 9: 149-160.

Yue, L., L. Erda and R. Minjie. 1997. The effect of agricultural practices on methane and nitrous oxide emissions from rice field and pot experiments. Nutrient Cycling in Agroecosystems 49:47-50.

Chapter 9 The Impacts and the Adaptive Strategies of Nitrous Oxide on Crop Production

Chao-Ming Lai and Shang-Shyng Yang
Department of Agricultural Chemistry, National Taiwan University

ABSTRACT

As a result of biotic and anthropogenic activities, the concentration of N_2O in the atmosphere is increasing. Hence the air temperature increased due to greenhouse effect, and the crop production was affected indirectly. Literature concerning direct impacts on crop production was not found. It's adaptive strategies included match N supply with crop demand, tighten N flow cycles, use advanced fertilizer techniques, and optimize tillage, irrigation and drainage. Besides, reduced deforestation rate, reduced protein inputs in animal feed, and reduced protein consumption by society could also be considered.

Key words： Nitrous oxide, Crop production, Greenhouse gas, Global change, Adaptive strategies.

氣候變遷對農作物生產之影響
第10章　二氧化碳、氣溫及紫外線升高對作物
　　　生育及產量之影響　151-160, 1998

第十章　二氧化碳、氣溫及紫外線升高對作物生育及產量之影響

翁　仁　憲
國立中興大學植物學系

摘要……152
壹、前言……152
貳、二氧化碳倍增及氣溫升高對農作物生產之影響……153
參、紫外線對作物生育及產量之影響……155
肆、結語……156
伍、引用文獻……157
英文摘要……160

第十章　二氧化碳、氣溫及紫外線升高對作物生育及產量之影響

翁　仁　憲
國立中興大學植物學系

摘　　要

近年來，CO_2 及 CH_4 等會發生溫室效應及其他足以破壞臭氧層的氣體排放量增加，使得地球氣候發生變化，紫外線增加。由於 CO_2 是光合作用的原料，故提高 CO_2 濃度有助於增加光合速率，一般結果指出，提高 CO_2 對提升作物乾物質累積及產量之效果以 C_4 型較小，C_3 型較大，具有固氮能力的豆科作物之效果更大。但是高 CO_2 濃度尚會影響代謝、氣孔開度與密度、葉面積及其他性狀，故高 CO_2 之效果隨實驗條件而異，結果也很分歧。如缺水、缺氮或葉片互相遮蔽時，都會降低 CO_2 增加對作物之增產效果，而且不同溫度下 CO_2 增加之效果亦不相同。近幾年在水稻之試驗結果顯示，群落狀態下，單純 CO_2 倍增時，水稻生物量之增加率為24～40%間，稻穀增產率則為15～40%間，增產之原因多是穗數及稔實率增加所致，唯溫度增加時，對生物量沒有大影響，但稻穀產量則會因為稔實率降低而抵消了 CO_2 倍增之效果。至於紫外線(UV-B)，現有結果已知其可影響多種植物之生理作用，而作物之葉綠素含量、葉分化、乾鮮重及產量均會受到影響。唯紫外線對水稻影響之結果也很分歧，需要更多的研究來說明。而且現已發現不同的品種間對UV-B有不同的抗性。對二氧化碳、氣溫及紫外線升高因應之道，除了可嘗試選育品種外，或可嘗試改善栽培法及改變栽植時期。

關鍵詞：高 CO_2 ，高溫，紫外線，作物，生育，產量。

壹、前言

近年來，由於人口增加、工業化及森林破壞的影響，使得 CO_2 及 CH_4 等會發生溫室效應及其他足以破壞臭氧層的氣體排放量增加，使得地球氣候發生變化，影響到植物生長及作物生產，此外 CO_2 濃度及紫外線之增加也會直接影響植物之生長。

根據Watson等(1990)、Lashof及Tirpak (1989)，地球大氣 CO_2 濃度由工業革命前的280 ppm迅速上升至目前的360 ppm，估計到21世紀會倍增到700 ppm左右。由於大氣中 CO_2 及其他溫室氣體之增加，使得地球溫暖化。據Adams等(1990) 及Watson等(1990)，CO_2 倍增結果，將使地球氣溫上升3～5.5℃，其中熱帶地區上升較少，高緯度則上升較多。由於氣溫上升會連帶引起雨量及溼度之變化，從模式預估在 CO_2 倍增時，東南亞之氣溫約增加1～2℃，降雨量在冬季增加0～15%，夏季增加5～15%，土壤溼度在冬季減少0～5%，夏季增加1～5%(耿及楊，1996)。

在台灣，據中央氣象局資料，台灣氣溫

自1897年有紀錄以來至1920年間是低溫期，此後溫度即逐漸上升，到如今已升高了1℃。而降雨量之變化則因地點而異，而相對溼度在近30年來，除高山及離島外，普遍下降了2～5%。由於氣溫升高及相對溼度下降，當然會使蒸發量增加而導致缺水。根據中央氣象局半經驗式主觀的推測，2050年溫室效應氣體增加後,台灣的氣溫約較1990年增加約1℃。

針對氣候變遷對作物之影響，各先進國在多年前已開始研究，以下就CO_2倍增，氣溫升高及紫外線對作物之影響加以說明。

貳、二氧化碳倍增及氣溫升高對農作物生產之影響

一、一般

根據最近之論述文章(蔣等, 1997; Chaves and Pereira , 1992 ; Lawlor and Mitchell Afrc, 1991; Saralabai *et al.,* 1997），最近十餘年來，關於CO_2濃度升高對植物影響之文章就達數千篇之多。綜合其結果，大致是由於CO_2是光合作用的原料，故提高CO_2濃度是可以增加光合速率，而且對C_3型植物而言，CO_2又可抑制光呼吸之消耗，所以大多數結果均顯示高CO_2濃度對C_3型植物之光合作用及乾物質之累積有利。由於CO_2會抑制暗呼吸作用，在高CO_2濃度下氣孔開度又會降低，益使植物體內CO_2濃度升高，故在某些植物之呼吸作用會降低，但某些植物則否。此外，CO_2長期處理也會減少葉片之氣孔密度，如此會抑制蒸散速率，雖然可提高水分利用效率，但是蒸散量降低，會促使葉片溫度升高，加上高CO_2下，因溫室效應，氣溫會升高，故高溫將會助長暗呼吸及光呼吸之消耗。如果是C_3型作物，在葉片溫度超過一定溫度(台灣平地作物約在30℃，翁, 1989)時尚會抑制光合作用，所以高CO_2引起之溫度升高，氣孔關閉以及因氣孔關閉引起之葉溫升高將不利於植物之同化作用。此外，提高CO_2濃度尚能使作物的葉面積增加，有利於生產。唯高CO_2會使氣溫升高、溼度降低而導致缺水，不但會直接影響光合作用，又會使得氣孔關閉，葉溫上升(Lawlor and Mitchell Afrc , 1991)，影響光合作用及呼吸作用。此外，因光合作用上升，光合產物增加，若光合產物來不及轉運也會抑制光合作用。另一方面，高CO_2濃度下也會促進植物根系的生長、酵素活性改變及開花期提早等。

據Lawlor及Mitchell Afrc (1991)之綜合論述中指出，有關高CO_2試驗之中，在田間進行試驗者只佔小部份。一般結果顯示，提高CO_2對提高作物乾物質累積及產量之效果以C_3型作物較大，C_4型作物較小，此乃C_4型作物具有CO_2濃縮迴路，不但能利用低濃度的CO_2，又能避免光呼吸之消耗所致。在CO_2濃度增加時，無論C_3型或C_4型，其氣孔開度均會受到抑制，此外，多篇論文(Arono, 1990; Norsy,1987)也指出，具有固氮能力的豆科作物對CO_2倍增之增產效果比較大。Lawlor及Mitchell Afrc (1991)又發現，高CO_2之田間試驗不但數量較少，結果也很分歧。如在棉花，由於不同試驗，其產量增加幅度在87～209%之間，大豆則在7～78%間，甘藷在45～83%間，水稻在6～73%間，造成結果如此分歧之原因，乃是因為田間環境不同所致。例如Rogers等(1986)指出，在缺水環境下，CO_2倍增對作物之增產效果比未缺水之情況下大，而且不同溫度下，CO_2倍增之效果亦不相同，如Idso等(1987)從蘿蔔、胡蘿蔔、棉花及其他兩種水生植物之資料中分析得知，在19℃時，CO_2倍增之增產效果為0%，但在32℃則為100%。Kirschbaum (1994)亦以模式分析指出，C_3型作物在5℃、350 ppm CO_2下之光合速率就達到CO_2濃度無限制時之77%，但在35℃時只達51%，可見在高溫下，CO_2倍增之增產效果較佳。此外，在缺氮情況下，會抑制CO_2倍增之增產效果，這也是CO_2倍增對具有固氮能力的豆科作物之增產效果較佳之原因。

二、水稻

在台灣，水稻及蔬菜為目前之最主要作物，但相對於大豆等作物，其氣候變遷研究結果尚屬少數(Lawlor and Mitchell Afrc, 1991)，在水稻方面，據Baker等(1989)、Imai等(1985)、Kimball (1983)、Ziska及Teramura (1992)之資料顯示，CO_2倍增時，水稻之增產率分別為23～72%，13～39%，6～58%，32～73%造成這些差異之原因可能為溫度、施肥量、光環境、栽培法及品種等不同所致。

Imai等(1985)以盆植水稻為對象，在晝、夜溫分別為28及21℃(28/21℃)下，CO_2倍增時，其生物量之增率為16%，在33/26℃下，則可達51%。但Baker等(1990)以群落狀態之水稻為對象之結果則顯示，CO_2倍增時，28/21℃(平均24.1℃)之生物量增產率為8.2%，28/21℃(平均25.1℃)則因期作之不同而有15~37%之增產率, 31/31℃時則有29~36%, 34/27℃時亦有12.5%之增產率。以上結果均顯示，CO_2倍增時，在高溫下群落狀態之增產效果較低溫佳，唯群落狀態之效果則較盆植為差，其原因為高CO_2能增大葉面積，在群落狀態下葉片容易互相遮蔽所致。Kim等(1996d)以群落狀態的水稻為對象，同時探討CO_2濃度倍增及溫度(25~31℃)對其生育及產量之影響，結果發現，CO_2倍增時能提早抽穗(此點Imai等(1985)亦有提及)，而且在高溫下之促進率較大，在30℃時促進11%。而且CO_2倍增及高溫時，可增加水稻之分蘗數及穗數，對LAI(葉面積指數)之促進則只限於營養生長初期，而且溫度對LAI之影響不大。至於乾物質累積量之影響則是CO_2倍增可促進24%，但溫度影響則很小。此點與Baker等(1990)之結果相近，唯Imai等(1985)、Ziska及 Teramura(1992a)之結果則顯示，CO_2倍增對水稻乾物質累積速率之促進是隨溫度增加(24~31℃)而增加。造成此差異之原因，Kim等人(1996)認為是因為水稻種植方式不同所致。Baker等(1990)及Kim等(1996a)係以群落狀態之水稻為材料，高溫能促進分蘗而使群落內光環境劣化而抵消了其乾物質累積能力。而Imai等(1985)、Ziska及Teramura (1992)則是以孤立狀態之水稻為研究對象，不易互相遮蔽所致。

Kim等(1996e)再探討CO_2倍增及高溫對稉稻產量之影響，結果指出，在26~27.5℃之情況下，CO_2倍增時之稻穀增產效率為22及40%(施氮量為12 g m^{-2}及24 g m^{-2})產量增加主要係歸因於穗數及每穗粒數之增加，稔實率及千粒重之影響則較小。另一方面，溫度增加時，CO_2倍增對水稻產量之促進效果則漸減，其原因為高溫造成不稔所致。

Morokuma等(1996)以400 ppm及660 ppm CO_2處理稉稻群落，在溫度方面，400 ppm CO_2區係控制在與外氣相同之溫度(全生育期之平均溫度為26℃)；660 ppm CO_2區則較外氣高2℃，結果發現到最高分蘗期為止。高CO_2、高溫區之葉面積與株高均較高，但到抽穗期則無差異，抽穗日期也無差異。在乾物質累積方面，到抽穗期為止，高CO_2、高溫可高出30%，到收穫期全乾物量與產量則分別只高出6%及7%，尚未達顯著水準。產量構成要素之中，高CO_2、高溫區之稔實率降低了17%，其他則無差異，造成稔實率之下降應該是高溫所致。Ziska等(1997)在菲律賓以秈稻IR72為材料，同時探討高CO_2及高溫(較氣溫高4℃)對其生長及產量之影響，結果發現，在生長初期也發現CO_2倍增能促進葉面積之增加，但在抽穗期及成熟期則無差異。在CO_2增加200 ppm及增加300 ppm時，水稻成熟期總乾物重各增加了31%及40%，此增加率在乾、濕季均相同，高溫之影響也不顯著。此外，CO_2增加200 ppm及300 ppm下，稻穀產量乾濕季平均可各增加15及27%，增產的原因為穗數及稔實率兩項均增加所致，但在高溫下，增加CO_2便失去增產之效果，同時也發現高溫下稔實率大為降低。而且高溫、高CO_2會

導致米質(例如蛋白質含量)變劣。

由以上幾篇研究報告可看出，在群落狀態下，單純CO_2倍增時，水稻之生物量及稻穀產量均會增加，其增加率隨試驗地區、品種及栽培法(如施氮量)而有差異，其中生物量之增加率為24～40%間，稻穀增產率則為15～40%間，增產之原因多是穗數及稔實率增加所致。唯溫度增加時，對生物量沒有大影響，生物量之增加率與單獨CO_2倍增時無異，但稻穀產量則會因為稔實率降低而抵消了CO_2倍增之效果。此外值得注意的是，這幾篇水稻報告都是以外界氣溫做參考值，再自動控制試驗區之溫度，因此保有了接近自然的日夜溫差及季節溫度之變化。至於對於水稻在高溫下稔實率降低因應之道，除了可嘗試選育在高溫下稔實良好之品種外，或可嘗試改變栽植時期，避免在高溫季節稔實。

三、蔬菜

高CO_2對蔬菜生產方面，在早期即有許多人嘗試在設施內施用CO_2以提高其產量，而且達到實用化階段。在葉菜類及根菜類方面，因為只需營養生長，故提高CO_2濃度大都能促進其生長(石井，1972)，而且促進率也與光環境有關(吉岡等，1990)。高CO_2亦會促使蔬菜氣孔開度減小，使葉溫升高(吉岡等，1990)，加上氣溫因溫室效應而上升，台灣有許多蔬菜喜好較冷涼的氣候，而且多種夏季蔬菜之生長適溫均在25℃左右(翁等, 1995; 林等, 1995; Weng, 1997; 利等, 1998)，故高溫對蔬菜生長之抑制不能忽視。此外，高CO_2尚會影響蔬菜品質，也需要探討(吉岡等，1990)。

影響植物耐熱性之因子很多，如在高溫下呼吸速率較小者，可以減少呼吸消耗，有利於其乾物質之累積 (Taiz and Zeiger, 1991; 翁, 1989)。在型態上，葉面積比(LAR)較大者，因其單位植物體重內可進行光合作用之葉面積較大，故單位葉面積所負擔之體重較小，相對的減少呼吸消耗(翁, 1989; 1992)。此外，較小的葉片較有利於散熱 (Taiz and Zeiger, 1991)，而氣孔阻抗較小(氣孔較密或開度較大)者，不但有利於光合作用，也有利於以葉面蒸散來降溫 (Taiz and Zeiger, 1991; 翁, 1994; 1996)。另一方面，在高溫下能維持其膜之穩定性也是耐熱之必要條件(Taiz and Zeiger, 1991)。

翁(1989, 1992)探討不同耐熱性之番茄、甘藍及白菜品種之光合作用及呼吸作用時發現，各菜種之光合作用適溫均在30℃附近，並無大差異。唯品種間暗呼吸之差異很大。較耐熱之甘藍及番茄品種(系)，均有較低之暗呼吸率。唯具有耐熱性之鳳山白菜，其光合速率不高，呼吸速率也不低，其較耐熱之原因可能為其葉面積比(LAR)較大所致。由於在結球或抽苔(如花椰菜)後，LAR會大幅下降，此亦可能為結球(或抽苔)性十字花科蔬菜不易在夏季生產之原因。林等(1995)、翁等(1995)及Weng (1997)又發現，無論土耕或水耕之鳳山白菜，其生長適溫約在25℃，夏季之高溫會抑制其生長，唯適當的降低根溫，則因可維持根之吸水機能，在高溫低濕之環境下，葉片不致失水，能維持蒸散作用。旺盛之蒸散作用即可將葉片冷卻，而維持作物之同化能力，減少呼吸消耗，使作物之生產力提高。Weng (1997)也發現，較耐熱之甕菜，其生長適溫也與鳳山白菜相近，唯其生長速率受高溫之影響程度較小。

由以上結果可知，蔬菜生產對高溫之因應，除了從菜種選擇及品種選育之外，亦可嘗試栽培管理方面之改進，如培育健全的根系，加上充足的灌溉，藉由旺盛的葉面蒸散來降溫等。

參、紫外線對作物生育及產量之影響

近年來，可能由於氮氧化物及冷媒(氟氯碳化物)溢散而破壞臭氧層，使得紫外線容易到達地面。紫外線可分為UV-C(210～280 nm)及UV-B (280～320 nm)，由於太陽光中之UV-C容易被臭氧層所吸收，故只有UV-B容易造成問題。Watson (1992)指出，

亞洲稻作地帶再過去二十年間，臭氧層減少了1~4%，臭氧層每減少1%則到達地面上的UV-B約增加2%。由於紫外線會破壞核酸及蛋白質，故其影響是多層面的，除了引起細胞發生突變及致癌外，尚會引起多種生理生化反應。此外，Teramura等(1990)，Ziska及Teramura(1992b)尚指出紫外線有降低高CO_2對作物生長促進之作用，其原因有一部分可能是因為紫外線會造成氣孔開度及密度減少(Dai *et al.,* 1992; Dai *et al.,* 1995; Stephanie *et al.,* 1996)及光合作用之速率低下(Dai *et al.,* 1992; Teramura and Sullivan, 1994)。

至於UV-B對作物生育及產量的影響，現以水稻為例說明如下: 熊谷(1994)以三葉齡之水稻幼苗，以0.46 W m^{-2}之UV-B照射後三日即發現葉片開始褐變，45天後受害嚴重的品種，在葉綠素含量、葉分化及乾鮮重均受到影響。同氏又在田間1.8 m高處，架設紫外線燈照射水稻，結果發現在生育初期葉片有褐變及抑制分蘗之現象，但隨著生育而逐漸恢復，但稔實率會逐漸降低，米粒蛋白質含量增加，食味有低下等現象。而且發現不同的品種間對UV-B有不同的抗性，甚至有些品種在低強度的UV-B下還能促進生育。在秈稉稻及aus、aman、boro......等各種生態型內均有抗性強及弱的品種; 但是發現日本水稻及boro之中有較強抗性的品種(Sato, 1993)。Dai等(1992)則認為葉面積、乾重等可作為選拔抗紫外線水稻品種之指標。

Kim等(1996b)以UV-B照射越光、水原258號及IR74等三個水稻品種，發現IR74對UV-B最敏感，水原258號之抗性較強。UV-B可使水稻之株高、葉面積、乾物質累積量減少。但是比葉重(葉重/葉面積)則只有水原258號增加，故不同水稻品種對紫外線抗性可能與其葉片變厚之程度有關。而單位葉面積及葉綠素含量則是越光與IR74減少，水原258則不變，而且水原258號單位葉面積內能吸收UV-B物質含量也會大量增加，但是單位葉重之含量則否。而晏與戴(1996)則是認為水稻對UV-B之抗性亦與其體內之活性氧清除系統活性較高，防止膜系遭受破壞有關。唯Kim等(1996c)以照射水稻品種越光，發現其抗氧化有關之酵素活性並未改變。

Dai等(1995)又發現，UV-B會造成氣孔開度及密度減少，其中對上表皮氣孔密度之影響較下表皮為大，而且對UV-B較敏感的水稻品種IR45及IR74經UV-B照射後，其氣孔開度、密度及乾重所受到之影響又較對UV-B較不敏感的水稻品種IR64及IR30為大。

Kim等(1996b)尚發現，經UV-B照射後，水原258號與IR74葉片C^{13}之含量會降低，表示UV-B對光合作用之非氣孔因子之影響較氣孔因子來得大。Kim等(1996a)再以UV-B照射越光、IR45與IR74等三個水稻品種進一步發現除了抑制株高外，尚會抑制分蘗數與穗數及產量，但C^{13}含量及UV-B之吸收物質含量則無影響，葉綠素含量則有降低之現象。唯Nouchi及Kobayashi (1995)以產於世界各地之17個水稻品種施以強度之UV-B照射結果發現，對株高、分蘗數及乾物質累積量之影響極微。葉綠素含量則雖因UV-B照射而增加，但只有三個品種達到顯著性差異。

由以上結果也可看出，紫外線對水稻影響之結果也很分歧，需要更多的研究來說明。

肆、結　語

由以上結果可看出，在群落狀態下，單純CO_2倍增時，水稻及蔬菜之產量均會增加，其增加率隨試驗地區、品種及栽培法(如施氮量及水分管理等)而有差異，唯溫度增加時，對水稻之生物量沒有大影響，但稻穀產量則會因為稔實率降低而抵消了CO_2倍增之效果。因應之道，除了可嘗試選育在高溫下稔實良好之品種外，或可嘗試

改變栽植時期，避免在高溫季節稔實。台灣有許多蔬菜喜好較冷涼的氣候，故高溫對蔬菜生長之抑制亦不能忽視，除了從菜種選擇及品種選育之外，亦可嘗試栽培管理方面之改進，如培育健全的根系，加上充足的灌溉，藉由旺盛的葉面蒸散來降溫等。此外，高CO_2尚會影響蔬菜品質，也需要探討。至於紫外線(UV-B)，現有結果已知其可影響多種植物之生理作用，而作物之葉綠素含量、葉分化、乾鮮重及產量均會受到影響。唯紫外線對水稻影響之結果也很分歧，需要更多的研究來說明。唯現已發現不同的品種間對UV-B有不同的抗性，故可考慮從育種著手。

伍、引用文獻

石井龍一. 1972. CO_2施肥論. p. 339-347. 戶艾義次監修，作物之光合成與物質生產. 養賢堂，東京.

吉岡宏. 1990. 寡日照地區設施蔬菜之CO_2施用效果. 農業與園藝 65: 1380-1384.

利幸貞 李炳和 陳一心 劉復誠. 1998. 季節性氣象因子變化對葉用甘藷生育量之影響. 中華農業氣象(印刷中)

林孟輝 許苑培 張學琨. 1995. 氣象因子對桃園地區小白菜生育之影響. 中華農業氣象 2:121-128.

耿旭 楊之遠. 1996. 全球氣候變遷對農業生產影響之評估. 中華農學會報 新174: 1-11.

翁仁憲. 1989. 溫度對蔬菜光合作用及呼吸作用之影響. 第二屆設施園藝研討會專集。p.209-217. 中國園藝學會.

翁仁憲. 1992. C_3及C_4型葉類之CO_2交換特性光及氮之影響. 中華農學會報 新157: 22-33.

翁仁憲 郭孚燿. 1993. 作物對高溫之適應性. 中日農業氣象應用研討會論文專輯. p. 13-28. 中華農業氣象學會.

翁仁憲. 1994. 玻璃溫室微氣候對水耕蔬菜生育之影響. 中華農業氣象 1:35-39.

翁仁憲等. 1996. 氣象因子對不同地區小白菜生育之影響. 農業氣象、空氣汙染與酸雨對農業生產影響及因應研討會論文專輯. p.277-285. 農試所.

翁仁憲. 1996. 作物之光合、呼吸及蒸散作用與其環境適應性之關係. 中華農業氣象 3: 1-7.

蔣高明 韓興國 林光輝. 1997. 大氣CO_2濃度升高對植物的直接影響. 植物生態學報 21:489-502.

晏斌 戴秋杰. 1996. 紫外線B對水稻葉組織中活性氧代謝及膜系統的影響. 植物生理學報22:373-378.

Adams, R. M., C. Rosenzweig, R. M. Peart, J. T. Ritchie, B. A. McCarl and J. D. Glyer 1990. Global climate change and U.S. agriculture. Nature (London) 345:219-224.

Arnone, J. A. III and J. C. Gordon. 1990. Effect of nodulation, nitrogen fixation and CO_2 enrichment on the physiology, growth and dry mass allocation of seedlings of Alnus rubra Bong. New Phytol. 116: 55-66.

Baker, J. T., Jr. Allen, K. J. Boote, A. J. Rowl, J. W. Bamford, P. H. Jones and G. Bowes. 1990. Temperature effects on rice at elevated CO_2 concentration. p.1-70. 1989. Progress Report. Joint Program of DOE and USDA. University of Florida, Gaine- sville.

Dai, Q., V. P. Coronel, B. S. Vergara, P. W. Barnes and A. T. Quintos. 1992. Ultraviolet-B radiation effects on growth and physiology of four rice cultivars. Crop Sci. 32: 1269-1274.

Dai, Q., S. Peng, A. Chavez and B. Vergara. 1995. Effects of UVB radiation on stomatal density and opening in rice (*Oryza sativa* L.). Ann. Bot. 76: 65-70.

Idso, S. B., B. A. Kimball, M. G. Anderson and

J. R. Mauncy. 1987. Effects of atmospheric CO_2 enrichment on plant growth: the interactive role of air temperature. Agric. Ecosystem and Environ. 20: 1-10.

Imai, K., D. F. Coleman and T. Yanagisawa. 1985. Increase in atmospheric partial pressure of carbon dioxide and growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.). Jpn. J. Crop Sci. 54: 413-418.

Kim, H. Y., K. Kobayashi, I. Nouchi and T. Yoneyama. 1996a. Enhanced UV-B radiation has little effect on growth, $\delta\ ^{13}C$ values and pigments of pot-grown rice (*Oryza sativa*) in the field. Physiol. Plant. 96: 1-5.

Kim, H. Y., K. Kobayashi, I. Nouchi and T. Yoneyama. 1996b. Effects of UV-B radiation on growth, $\delta\ ^{13}C$ values and pigments of three rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. Environ. Sci. 9: 45-53.

Kim, H. Y., K. Kobayashi, I. Nouchi and T. Yoneyama. 1996c. Change in antioxidants levels and activities of related enzymes in rice (*Oryza sativa* L.) leaves irradiated with enhanced UV-B Radiation under field conditions . Environ. Sci. 9: 73-78.

Kim, H. Y., T. Horie, H. Nakagawa and K. Wada. 1996d. Effects of elevated CO_2 concentration and high temperature on growth and yield of rice. I. The effect on development, dry matter production and some growth characteristics. Jpn. J. Crop Sci. 65: 634-643.

Kim, H. Y., T. Horie, H. Nakagawa and K. Wada. 1996e. Effects of elevated CO_2 concentration and high temperature on growth and yield of rice. II. The effect on yield and its components of Akihikari rice. Jpn. J. Crop Sci. 65: 644-651.

Kimball, B. A. 1983. Carbon dioxide and agricultural yield: An assemblage and analysis of 430 prior observations. Agron. J. 75: 779-788.

Kirschbaum, M. U. F. 1994. The sensitivity of C_3 photosynthesis to increasing CO_2 concentration: a theoretical analysis of its dependence on temperature and background CO_2 concentration. Plant, Cell and Environ. 17: 747-754.

Kumagai ,T. 1994. Effect of UV-B radiation on growth of rice. KASEAA 32: 506-513.

Lashof, D. A. and D. Tirpak. 1989. Policy options for stabilising global climate. U.S. Environmental Protection Agency, Washington.

Lawlor D. W. and R. A. C. Mitchell Afrc. 1991. The effects of increasing CO_2 on crop photosynthesis and productivity: a review of field studies. Cell and Environment. 14: 807-818.

Morokuma, M., M. Yajima and S. Yonemura. 1996. Effects of elevated CO_2 concentration and warming on growth and yield of rice. Jpn. J. Crop Sci. 65: 222-228.

Norby, R. J. 1987. Nodulation and nitrogenase activity in nitrogen-fixing woody plants stimulated by CO_2 enrichment of the atmosphere. Physiol. Plant. 71: 77-82.

Nouchi, I. and K. Kobayashi. 1995. Effects of enhanced ultraviolet-B radiation with a modulated lamp control system on growth of 17 rice cultivars in the field. J. Agric. Meteorol. 51: 11-20.

Owensby, C. E., P. I. Coyne , J. M. Ham, L. M. Auen and A. K. Knapp.1993. Biomass production in a tallgrass prairie ecosystem exposed to ambient and elevated CO_2. Ecol. Appl. 3: 644-653.

Rogers, H. H., J. D. Cure and J. M. Smith.

1986. Soybean growth and yield response to elevated carbon dioxide. Agric. Ecosystems and Environ. 16: 113- 128.

Saralabai ,V. C., M. Vivekanandan and R. Suresh Babu. 1997. Plant responses to high CO_2 concentration in the atmosphere. Photosynthetica 33:7-37.

Sato, T. and T. Kumagai.1993. Cultivar differences in resistance to inhibitory effects of near-UV radiation among Asian ecotype and Japanese lowland and upland cultivars of rice. Japan J. Breed. 43:61-68.

Taiz, L. and E. Zeiger. 1991. Plant physiology. p.219-291, p.241, p.249-256, p.346-362. Benjamin/Cummings publishing Co. Inc., New York.

Teramura, A. H. and J. H. Sullivan. 1994. Effects of UV-B radiation on photosynthesis and growth of terrestrial plants. Photosynth. Res. 39: 463-473.

Teramura, A. H., J. H. Sullivan, and L. H. Ziska.1990. Interaction of elevated ultraviolet-B radiation and CO_2 on productivity and photosynthetic characteristics in wheat, rice, and soybean. Plant Physiol. 94: 470-475.

Wand, S. J. E., G. F. Midgley and C. F. Musil.1996. Physiological and growth responses of two African species, Acacia karroo and Themeda triandra, to combined increases in CO_2 and UV-B radiation. Physiol. Plant. 98: 882-890.

Watson, R.T., H. Rodhe, H. Oescheger and U. Siegenthaler. 1990. Greenhouse gases and aerosols. pp. 1-40. In J. T. Hougton et al. (ed.) Climate change: The IPCC scientific assessment. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Weng, J. H. 1997. Effects of micro-climate in glasshouse and root temperature on growth of hydroponic vegetables. J. Agric. Meterol. 52: 857-862.

Ziska, L. H. and A. H. Teramura. 1992a. Intraspecific variation in the response of rice (*Oryza sativa*) to increased CO_2-photosynthetic, biomass and reproductive characteristics. Physiol. Plant. 84 :269-276.

Ziska, L. H. and A. H. Teramura. 1992b. CO_2 enhancement of growth and photosynthesis in rice (*Oryza sativa*). Modification by increased ultraviolet-B radiation. Plant Physiol. 99: 473-481.

Ziska, L. H. and J. A. Bunce 1995. Growth and photosynthetic response of three soybean cultivars to simultaneous increases in growth temperature and CO_2. Physiol. Plant. 94: 575-584.

Ziska, L. H., O. Namuco, T. Moya and J. Quilang. 1997. Growth and yield response of field-grown tropical rice to increasing carbon dioxide and air temperature. Agron. J. 89: 45-53.

Chapter 10 The Effects of CO_2 Enrichment, High Temperature and Ultraviolet on Growth and Yield of Crops

Jen-Hsien Weng
Department of Botany, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC

Abstract

The effects of CO_2 enrichment (EC), high temperature (HT) and ultraviolet on photosynthesis, biomass production and yield of crops are reviewed. Although many characteristics, such as metabolism, leaf area index, stomatal frequency and conductance, transpiration, etc., would be influenced by EC, HT and other conditions, the results are very variable due to the varied conditions in the field and greenhouse. In recent years, some experiments combined EC and HT in rice were investigated. The results indicated that the biomass production was markedly promoted by EC, and negligibly small affected by HT. On the contrary, the grain yield was 15-40% higher in EC with low temperature, but remarkably reduced due to the high temperature induced sterility. Numerous studies have shown that ultraviolet-B (UV-B) can damage biologically important molecules in plants and has adverse effects on plants growth and yield. Growth and yield of rice was affected by UV-B and varied among cultivars. However, the results are variable among experiments. It requires more experiments carrying out under various climatic and solar UV-B regimes.

Keywords: CO_2 enrichment, High temperature, Ultraviolet, Crop, Growth and development, Yield.

氣候變遷對農作物生產之影響
第11章　溫室效應及減量措施對農業之經濟
影響評估　161-181, 1998

第十一章 溫室效應及減量措施對農業之經濟影響評估

張　靜　貞
中央研究院經濟研究所暨
國立台灣大學農業經濟研究所

摘要……162
壹、前言……162
貳、溫室效應對農業生產之經濟影響……164
參、減量措施之成本……168
肆、臺灣地區之評估研究與成果……169
伍、結語……176
陸、引用文獻……177
英文摘要……181

第十一章 溫室效應及減量措施對農業之經濟影響評估

張 靜 貞
中央研究院經濟研究所暨
國立台灣大學農業經濟研究所

摘 要

由於工業快速發展，大量使用化石燃料，導致溫室氣體在大氣中濃度大幅提高，過多的溫室氣體造成溫室效應，使地球溫暖化，進而引發全球性氣候變遷，造成地球氣溫上升，降水型態和降雨量改變，此種改變對世界自然生態體系造成重大衝擊，也對全世界的農業生產結構及產量帶來許多直接與間接的影響。為了協助政府決策者對選擇最佳之減量策略，經濟學者必須評估各種減量策略之「成本」與「效益」，本文中蒐集彙整近十年來國內外在農業經濟方面的評估文獻與報告，並分別自「效益面」－溫室效應對農業生產之經濟影響、「成本面」－溫室效應減量措施之影響、與目前臺灣地區所進行之研究計畫作一回顧，除了將重要之研究成果加以討論與比較外，並嘗試對未來研究方向作一些建議。

關鍵詞：溫室效應、農業生產、政策、經濟評估、成本、效益。

壹、前 言

在大氣中主要的溫室氣體有二氧化碳、甲烷、氟氯碳化物及氮氧化物，近年來溫室氣體排放量的持續增加，已造成地球的溫室效應。溫室效應所帶來的地球溫暖化，會明顯地對於全球之溫度、降水量、氣候型態、太陽輻射能....等產生很大的改變。在1988年聯合國與世界氣象組織(World Meteorological Organization)設置了一個政府間氣候變遷小組(Intergovernmental Panel on Climate Change；以下簡稱IPCC）著手各項相關之研究工作。IPCC的研究共分為三個工作小組(Working Groups)分頭進行，第一個工作小組由英國主持，專責於測定溫室效應之存在與程度的科學研究，第二個工作小組由蘇聯主持，負責研究溫室效應對生態物理環境、人體健康及社會經濟活動所造成之影響，第三個工作小組由美國主持，負責有關制定溫室效應因應策略與減量機制之研究(OECD, 1991)。在1992年的十一月間，由美國所主持的第三個工作小組重新調整其任務，以衝擊(impact)、減量(mitigation)與調適(adaptation)三大策略之社會經濟面向評估為主，本章即以第三個工作小組之研究範疇為依據，並以農業生產為主題，回顧近十年來各國與臺灣所作之社會經濟評估文獻。

一般而言，因全球氣候變遷所造成的溫室效應影響可分為兩大部分：自然環境的衝擊與人文環境的衝擊。在自然環境之衝擊方面，首先我們所面臨到的是全球氣溫的上升，一旦氣溫上升，對整個自然生態方面有四個

重要影響：(1)海平面上升；因冰山、冰川的融化及海水溫度上升導致的海水熱膨脹，造成海岸上升，沿海精華區的土地流失，並會使得地下水質鹽化。(2)海水溫度提高，將改變魚類的生態，使得漁業資源變動並造成漁場變化。(3)病蟲害、雜草的增加，此種現象會提高農業投入的成本。(4)土壤蒸發量大，土壤溼度降低，造成土壤降級，影響農作物之生長與單位面積產量。此外，隨著地表溫度日漸升高，降水的型態及降雨量也因之改變，已有不少研究報告分析全球氣候變遷所造成的溫度上升對農業生產力、病蟲害防治及灌溉需水量的直接影響，但各方眾說紛紜，對問題的嚴重性目前尚無定論，但可以確定的是，根據IPCC (1996)的報告指出溫室氣體持續在增加中，而由溫室氣體所造成的全球氣候與自然環境的變遷也較以往來得明顯，例如1990至1995的聖嬰現象，被視為過去120年來最特殊的一次，此現象在未來也將會持續下去，因此勢必將對全世界的農作物生產結構及產量帶來許多直接的影響。

但在所謂的溫室氣體中，除了氟氯碳化物外，其餘三種(二氧化碳，甲烷及氮氧化合物)都與農業相關。首先，溫室氣體之一的二氧化碳是植物行光合作用的主要原料，綠色植物可將二氧化碳經由光合作用轉換成氧氣，然而植物同時也會在呼吸作用中排放出二氧化碳。其次，氮氧化物的主要排放來源為氮肥的使用、土地使用改變及化石能源的燃燒。甲烷的主要排放來源則分別由水田、採煤、油氣系統、牲畜腸胃發酵、動物的排泄物、垃圾掩埋、廢棄物及生質能而來。一些文獻提及農業為製造這兩種溫室氣體(甲烷及氮氧化物)的主要部門(Amstel and Swart，1994)，而二氧化碳最主要的排放來源則來自工業部門石化能源的使用，在燃燒石油、煤炭、天然氣的時候會生成大量的二氧化碳，導致二氧化碳在大氣中的濃度自工業革命後急速上升，成為溫室氣體中比例最大的成份，影響溫室效應最大。

在人文衝擊方面主要是制度與政策面的影響，一旦溫室效應所造成的全球暖化問題引起了無法彌補的生態失衡，除了直接影響自然環境與農業生產外，更間接影響到人類的經濟活動、國際貿易、生活品質、人口分布...等，因此，研究全球氣候變遷的影響已衍然成為近年來科學家及社會學家關切的重點(葉，1995)。在1992年6月巴西里約舉行「地球高峰會議」，由一百五十四國領袖共同簽署「氣候變化綱要公約」(Framework Convention on Climate Change；簡稱FCCC)。FCCC將國家分成兩組來規範：第一組國家(Annex I)規定在2000年時溫室氣體排放量回歸至1990年水準；非第一組國家(Non-Annex I)則規定在2000年時溫室氣體排放量不必回歸至1990年水準，但必須盡力降低溫室氣體的排放。希望能抑制溫室氣體的排放，使得溫室效應對地球的影響降到最低。我國已積極準備加入簽署此國際公約的行列，一旦簽署同意生效後，則須遵守公約規定，降低溫室氣體之排放量，因此國內的環保、經濟及相關單位正積極研究此公約之制定對本國總體經濟目標及個別產業發展所造成之衝擊程度，以及如何用最有效率及社會成本極小的手段在限期內達到公約的要求。

1997年12月1日至12月11日在日本京都召開第三次締約國大會，在該大會中簽署「溫室氣體減量議定書」及其他法律文件，藉以規範工業國家2000年以後的排放目標。京都協議書中主要的協定包括:削減對象訂為二氧化碳、甲烷、氧化亞氮、冷媒替代氟化氮HFC、PFC、SF6六項、以基準年1990年之排放量並換算成二氧化碳為基準、目標期間設定為2008～2012年這五年的平均值、削減目標各國互異，先進國家全體平均削減5.2%，其他條文尚包括1998年再議排放權交易、歐盟共同實施、承認森林吸收溫室氣體功能等，預測新興工業國家(如我國)將於2010～2015年間加入減量行列(柳，

1997；謝，1997)。

為了協助政府決策者對選擇最佳之減量策略，經濟學者所扮演之角色是去評估或預測各種減量策略之「成本」與「效益」，成本面的評估指的是這些減量策略之實施為人類及整個社會所帶來之負擔，例如：減少含碳能源之使用會減緩經濟成長速度、輔導農民降低肥料之使用以抑制氧化亞氮排放量可能造成農業之減產，並影響農民之收入等。效益面之評估則是探討在溫室氣體減量或獲得控制之後將為人類及整個社會帶來多少的利益，此一評估目前皆以衡量溫室效應所造成之損害作為減量所獲利益之代表，例如：氣溫上升與降雨之異常所造成某些熱帶地區農業之減產，此減產所帶來之損失即可作為減量效益之估算依據。

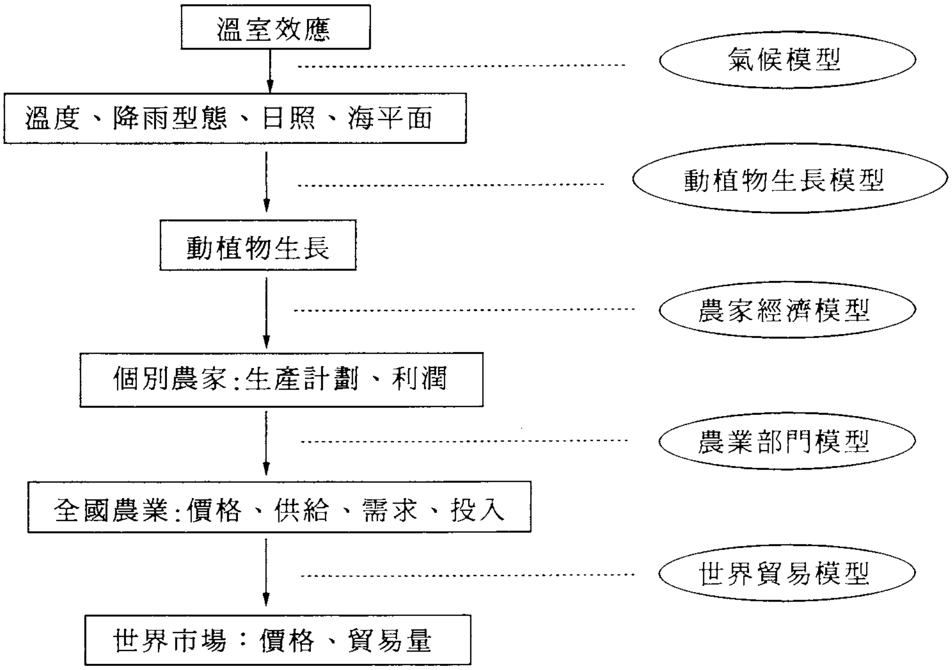
在評估減量策略之成本與效益時有若干較易引起爭議之處，值得特別注意。首先是在分析時點上有先後與長短期之區分，由於實施減量措施之後所產生之成本係發生於較為短期的未來，但農業生產因減緩氣候暖化所得之效益則需要較為長期的時間才能實現或觀察到，因此這兩種結果必須有長短期之區分，並用時間與折現率來加以彙整比較，方可作為決策部門研擬因應策略之參考用。其次應注意對溫室效應強弱之假設是否一致，由於目前的研究結果尚有許多不確定性，這也使不同研究所作之假設往往有所差異，難以客觀的比較。第三個值得注意之處則是評估時是否考量農民或整體農業部門所作的調適行為(adaptation)，這些調適行為之存在與否往往會影響結果之顯著性。此外，不同減量策略之間是否存在某種矛盾或互補關係亦應加以深入探討，以免產生減少了某種氣體排放卻導致其他氣體排放增加之錯誤決策。以下各節將分別針對「效益面」－溫室效應對農業生產之經濟影響、「成本面」－溫室效應減量措施之影響、與目前臺灣地區之研究進度與成果加以討論。

貳、溫室效應對農業生產之經濟影響

本節所回顧之文獻是以探討氣候變遷對全世界以及各國(或各地區)的農業生產以及個別農家的影響為主。首先，以個別農民而言，這些研究想瞭解農民將如何改變生產技術、利用新品種、轉變耕作方式、甚至選擇不同作物來因應氣候之變化，以維持其農場的利潤與農家生計。其次就國家的層面而言，這些研究探討的則是個別農民的行為改變是否將造成全國農產品之減產、進口需求之增加、市場價格與存貨之異常波動、甚至於糧食安全與管理等政策面之調整，此外國家資源(農地、灌溉用水、農業勞力)配置方面的變化與調整也不容忽視。最後，就全世界而言，糧食供需結構之改變勢必造成世界農產品市場價格與貿易型態之改變，進而影響各國之外匯收支平衡、國民所得、所得分配、糧食安全等。這些研究之關連性可用《圖一》來加以表示，由圖中可明顯看出這類型研究一定需要跨科際之整合研究群組織始能完成，《圖一》中的前二環節需要大氣、海洋、地質等自然科學家之合作，中間的作物成長模型與分析則有賴農藝、畜牧、農化、土壤、植病等農業科技專家之合作，最後三個環節乃目前經濟學者所切入的研究重點。

全世界農業的整體影響方面，許多研究是利用全球環流模式(General Circulation Models，以下簡稱GCMs)之模擬來預測全球氣候的變化及探討其可能帶來的影響(OECD, 1992)。IPCC (1996)曾將世界各地區之模擬結果彙整見《表一》，這些結果顯示氣候變化對主要糧食作物產量皆有極明顯之影響，但影響程度在同一地區出入頗大，地區間的差異也很大。其他主要的發現有Rosenzweig and Parry(1994)，他們利用三種不同的GCMs(GISS、GFDL、UKMO)來估算氣候變遷所造成之溫度及降水量的改變，根據這些變化，Rosenzweig and Parry 進一

《圖一》溫室氣體減量對農業的影響效益面的分析架構



《表一》溫室效應對世界各地區農作物產量之影響用GCMS所模擬之結果

地區	作物	產量影響(%)
拉丁美洲	玉米	-61%→ ＋
	小麥	-50%→-5%
	大豆	-10%→40%
前蘇聯	小麥	-19%→41%
	穀物	-14%→13%
歐洲	玉米	-30%→＋
	小麥	＋or －
	蔬菜	＋
北美洲	玉米	-55%→62%
	小麥	-100%→234%
	大豆	-96%→58%
非洲	玉米	-65%→ 6%
	粟	-79%→63%
南美洲	稻米	-22%→ 28%
	玉米	-65%→-10%
	小麥	-61%→ 67%
中國大陸	稻米	-78%→28%
其他亞太地區	稻米	-45%→30%
	牧草地	-1%→35%
	小麥	-41%→65%

資料來源：IPCC (1996)

一步研究此變遷對於農業生產、農產品價格之影響及遭遇到饑荒的風險，最後發現，對穀物總體產量之影響在負1% 到8% 間；在沒有調整行為及排除二氧化碳對農作物之正面影響下，因氣候變遷所引起的穀物價格上升在24% (利用GISS估算)至145% (利用UKMO估算)；若對於氣候變遷有調整行為時，則穀物價格上升在10% (利用GISS估算)至100% (利用UKMO估算)；此外，潛在的饑荒人口也會因為氣候變遷而上升，從四千萬人(利用GISS估算)到三億人(利用UKMO估算)。

而Reilly *et al.* (1994)則將焦點集中在分析貿易的影響，說明出口之情況對影響國家之淨經濟的衝擊，結論是主要的農業出口國獲利，雖然使他們已遭受到生產降低的損失，但仍能由價格的上升來彌補生產的損失；相反的，進口國之淨經濟影響會因為農產品價格上升而受到損失，換句話說，每個國家因全球氣溫變遷所帶來的淨影響，在不同的情況下存在著差異，因此在估計全球性的影響時必須特別注意。

不過，在變化時間漫長(預測一百年間升高攝氏1.5度到4.5度之間)的全球氣候變遷中，調整行為扮演一個重要的角色，因為氣候變化是漸近的，所以農業受到影響也是逐漸變化而很難發現。如果在這變遷中利用適當之調整行為，將會降低因氣候變遷所帶來的負面影響；再者，農民對於其所面臨的先天氣候條件，也會充份利用目前可行的技術，以求利潤極大。因此，對於溫室效應對農業之影響，調整行為可帶來一些正面的效果，以彌補農業因此而得到的傷害。在Rosenzweig and Parry (1994)及Reilly *et al.* (1994)研究中，便分別對於作物種類、種植時間、施肥程度及灌溉等調整因子加以組合，模擬調整行為所帶來的影響。

二氧化碳對農業的影響目前仍有許多爭議，主要是因為二氧化碳能增加光合作用的速度且抑制植物氣孔的張開，如此能加速作物的生長，Rosenzweig and Parry 便基於實驗的發現，估計二氧化碳的濃度若由330ppm上升到550ppm，大豆的生長會上升34% ，小麥22% ，稻米19% ；Wolfe and Erickson (1993)亦提出類似的結果。雖然已有許多實驗證明此觀點，但Wolfe and Erickson (1993)認為這個效果有被高估的傾向，因為這些實驗都在完美的條件下操作，忽略了氣候條件的限制、病蟲害、土壤降級與酸化、灌溉等在開放田間下可能出現的生產成本，及與其他環境壓力之相互作用的影響(Reilly，1995)。不過，更值得注意的是二氧化碳的上升會造成雜草及病蟲害對農業的損失，尤其是開發中的國家，受限於殺蟲劑及病蟲害的科學知識，無法有效的控制由於雜草及病蟲害所帶來的負效果，因此二氧化碳的增加在開發中國家對農業的影響並不確定，但對於已開發國家，如美國因控制病蟲害的能力較強，可能會有正面的影響(Kaiser and Crosson，1995)。造成二氧化碳加倍對農業之影響無法確定的原因有二：GCMs本身之可信度，及GCMs對農業影響預測之限制。目前的研究多半利用GCMs去模擬未來的氣候變遷，但此種模型不見得能涵蓋所有可能有交互作用的因子，縱使能皆納入模式中，輸入之參數值往往來自有限的觀察，可覆驗的資料不足，因此造成GCMs在升溫預測上有高達數倍的差異。此外，GCMs之最小結果單位為2500平方公里，對於農業而言，範圍太大，結果過於粗略，對全球之影響也只能估計出大略的數值範圍，在實證上的運用不夠精確，成為另一個不確定的原因。

雖然這兩個研究的著眼點不同，但在一些觀點上仍獲的相似的結論：(1)對於全球性農業生產、價格及經濟的福利，在有調整行為及二氧化碳的正面影響之下，受到全球氣候變遷而造成的影響約為全球國民生產毛額之0.3% 。(2)二氧化碳之正面影響十分重要，約帶來115至190兆美元的利得，而調整行為相較之下便較不重要，約有7至

24兆美元的利益。(3)低所得國家所受到的衝擊比高所得國家嚴重(Reilly，1995)。

Darwin *et al.* (1995)則利用CGE模型(Computable General Equilibrium Model)，以「全球」的觀點來討論氣候變遷的影響，在此研究中同樣發現若能對於氣候的變化提出因應的策略，加以調整、適應，則將會因氣候變遷所帶來的損失減輕，甚至可以轉換成利得。另外也有研究是討論開發中國家之農業與氣候變化的關係(Antle，1995)，多數的開發中國家位於熱帶或亞熱帶，GCMs並不能預測這些區域特有的氣候現象(如：太平洋上的低氣壓或加勒比海的颶風)，因此，全球氣候變遷對開發中的國家所造成的影響效果仍不確定；不過，可以確定的是，許多開發中國家有眾多人口及農業用地靠近海岸，如印尼、菲律賓，一旦因為氣候暖化而造成海岸線的上升，這些區域可能會被洪水侵襲、地下水鹽化，漁業的發展受阻，造成此區域未來發展上的限制。另外一個影響是病蟲害，尤其在熱帶，熱與潮溼更會造成生物的疾病問題(Qureshi and Hobbie，1994)，會使此區域農業投入成本增加，降低農業的相對競爭力。由此可知，開發中國家之農業受到氣候變遷的影響仍有待深入的了解。

上述的研究主要是以全世界的觀點去考慮溫室氣體所引起的氣候變遷對全球農業之影響，個別農場差異性的研究也有重要的發現。Kaiser(1993)研究在1980到2079年之間，氣候逐漸變化對於Minnesota及Nebraska之代表性穀物農場的影響。農場可利用不同的品種(早熟、中熟、晚熟)之穀物種類、不同作物組合及調整操作時間以因應氣候變遷，但不計入二氧化碳之正面影響及技術進步。Kaiser指出在較冷的區域如Minnesota之農場，比較能夠適應氣候的改變，並且能從氣候溫暖化中得到利益；估計在2070年淨農場利得會比氣候無變化時增加4%；而南部的Nebraska，淨農場利得則會下降。調整行為方面，如果Minnesota之農場利用調整行為，則會增加淨農場利得，若無調整行為，到2070年淨農場利得會比氣候無變化時降低72%。Adams *et al.* (1990)研究也認為美國南部的州一般而言經濟福利下降，北部的州上升，這與Kaiser的結果頗為一致。Bowes and Crosson (1991)研究氣候變遷對Missouri、Iowa、Nebraska和Kansas四州農業生產的影響，但是結果發現氣候變遷對於美國區域的經濟影響並不會很大，全區域生產約下降0.3%到9.7%，尤其是在氣候變遷之後所作的技術上的調整行為，更能緩和此一現象(Kaiser and Crosson，1995)。

Mendelsoln, *et al.* (1994，1996)指出上述的研究皆屬於所謂農藝學的評估方法(Agronomic Approach)，這種方法的缺點是很難將農民對環境的調適行為考慮在分析模型中，只能適用於實驗室一切控制因素皆掌握的情況下，與實際農民在田間耕種情況勢必有極大差異。因此Mendelsoln *et al.* (1994)三人提議利用李嘉圖地租論所推導出來的一種地租法(Ricardian Approach)作評估依據，即利用美國三百個郡的橫斷面資料估算氣候變化對於土地價格的經濟影響，由於這種方法評估的是氣候對整個農場收益的長期影響，而非針對某一種作物的產量，因此方法上將農民因應氣候變化所作之調適與作物改變都考慮在內。他們的實証結果發現，除了秋季之外，提高氣溫將會降低農地的平均價值，而秋季則是因為農場外的經濟活動增加而呈相反的結果。在另一篇最新的報告中Mendelsoln *et al.* (1998)三人將前面的研究延伸，除了放進氣候因子的平均值外，也將氣候的變異程度(Variation)加入考量，重新評估氣候變化對農場價值之影響，結果發現氣候變異程度的加大對農場價值具有負面之影響，因此他們強調以往所發現平均氣溫升高對農場價值之負面影響其實應來自變異程度提高所致，而暖化本身則是有正面影響的。這個一系列的研究皆是利用土地價格之差異

作為評估依據，在這方法之下，即使忽略了二氧化碳對產量所帶來的肥化益處(fertilizer effect)，全球暖化對於農業仍然有正面的影響 (Kaiser and Crosson，1995)。

綜合而言，目前分析全球氣候變遷對農業的影響之結果存在許多差異，但較為經濟學者所公認為可接受之結論，則可歸納如下(Innes and Kane，1995)：

(1) 溫室氣體之累積對農業部門造成的成本會因不同估算方法而異。

(2) 發展中國家因溫室效應所帶來之損失大於已開發國家。

(3) 農民因應氣候變遷所作的調整可降低氣候變遷對農業的相對成本。

(4) 誘導創新將會降低因溫室效應所帶來的逆效果。

參、減量措施之成本

本節所討論的文獻以探討農業部門受到減量措施實施後之影響為主，這方面的實証研究文獻在非農業部門極多，但農業則相對上極少，且多集中在農業本身相關的減量措施上，如:減少氮肥使用及伐木也降低氧化亞氮之排放，減少水稻田面積及改變飼料配方以減緩甲烷之釋出，或利用植樹造林來吸取大氣中的二氧化碳等。主要的探討重點則是在於這些減量措施背後所隱含的社會成本，那些人受害，那些人獲利，是否有環保與經濟成長之間的衝突存在，以及農業部門對減緩溫室效應所可提供的貢獻等。

首先，Adams *et al.* (1986)曾分析大氣臭氧濃度之變化及相關之空氣品質管制政策對美國農業部門之影響，結果發現空氣品質之改善對農業生產有正面的幫助，但由於這些空氣品質管制措施皆針對工業部門所制定，故該文並未探討農業部門所需付出之代價與成本。其後，Adams *et al.* (1992) 嘗試分析美國農業部門受到各種溫室效應減量措施之經濟影響，實証結果顯示以甲烷之減量而言，不同減量措施之成本差異頗大，若是利用降低水田之施肥量為減量策略，其成本每減少一噸甲烷排放必須花費500至600美元，若利用牛羊飼料配方之改變，則減量成本大幅提高，增為平均每噸甲烷3,000至5,000美元之水準。以氧化亞氮之減量而言，採用減少氮肥使用之策略，其平均成本每減少一噸氧化亞氮必須花費4,000美元以上。文中並提出這些成本大多來自於減量措施導致產量的減少及食物價格的上升，同時大多為消費者所負擔，故對低收入家庭極為不利。而降低肥料投入，亦會產生增加作物種植面積與農地利用型態改變之副作用，此策略將會與其他降低農地面積之策略互相衝突。探討植樹造林吸取二氧化碳的文獻較多，其他方式(如：使用量管制、徵稅等)雖為學者所提議，但涉及政治與所得重分配問題，實際執行上阻力較大，相對而言，造林吸碳具潛在的外部環境效益，社會阻力小，將來木材的收穫又具經濟價值，所以成為一個很重要的「綠色」政策。Adams, et al.(1993)利用價格內生化的農業部門模型來分析植樹於美國農地上之社會成本及對農林部門各方面的影響，文中將美國分為七個地區，各地區之生產成本不同，吸碳率亦不同，結果主要有：(1). 用農業土地植樹來吸取二氧化碳的社會成本在吸收目標較低(10至20％)時非常有限，但會隨吸取目標之提昇而迅速加大；(2). 就每單位二氧化碳之吸取而言，其單位成本每噸為美金18元(吸取目標10％)至55或200元(吸取目標50％)，此單位成本之上升主要原因是因為隨著吸取目標之升高，會迫使越來越多的品質較好的農地加入植樹行列，此時所付出的社會成本將大幅增加；(3). 若只植樹不砍伐，大部份之社會成本會因農產品價格之上升而由消費者來負擔。但若加以砍伐，則消費者會因較低廉的木材及木製品而獲得補償，但傳統木材市場之生產者則會因木材價格之大幅下降而蒙受重大損失。

Adams *et al.* (1996)進一步修改1993年建立的靜態林業部門為動態跨期模型，利用木材管理市場模型與存貨模型之理論將未伐採的樹木視為存貨，若價格高時可增加伐採，木材價格低迷時可不伐採作為下一期存貨，透過存貨作跨期調整，而非過去樹木有一定的伐採量，此方式可避免Adams等人於1993年的研究中所得到的紙漿價格下跌現象，所建立的林業和農業部門最適化模型 (Forest and Agricultural Sector Optimization Model，簡稱FASOM)將美國分為9個地區(不同地區其土壤生產力、生產樹種、管理程度等皆不同)，來生產農牧產品及硬木及軟木之初級林產品，再透過產品加工生產六種次級林產品；管理程度是指對林業經營採取集約經營或粗放經營，過去研究將管理程度與規模大小視為外生變數，此模型將它們內生化。模擬不同公有林收穫政策對私有林管理程度的影響，結果發現若政府部門抑制木材收穫量，則市場透過跨地區性的移轉以避免價格的波動，有許多地區轉為生產軟木且採取粗放經營。

Parks and Hardie(1995)利用成本效率方法討論誘使邊際農業土地移轉為林業使用之補貼金額與吸取二氧化碳數量比例大小。他們將美國分成北、西、南三區且農地依其生產力大小分級，在追求土地擁有者之利潤極大下，求得最適土地配置及商品供給量，再將利潤折現得農地和林地最適租金之現值。若林地最適地租現值高於農地最適地租現值，即農地造林淨機會成本(農地最適地租現值-林地最適地租現值)大於零，則政府不須對農地轉為林地種樹之地主進行補貼，反之則政府必須對其補貼且補貼至林地最適地租折現值與農地之最適地租折現值相同，即農地造林淨機會成本等於零。Parks and Hardie模擬美國之吸取二氧化碳計劃，結果顯示造林應集中於牧地，且隨著吸取目標提高政府支出增加速度更快，若所有登記農地造林土地116.1百萬公頃皆加入植樹行列，可吸取美國每年碳排放成長率1%約150百萬公噸，政府支出約為1994年國內生產毛額的1%約67.4億元。依每噸吸碳量之最小政府支出決定使用的土地數量，則農地造林面積以23.1百萬公畝吸取45百萬噸的碳最符合成本效率。

肆、臺灣地區之評估研究與成果

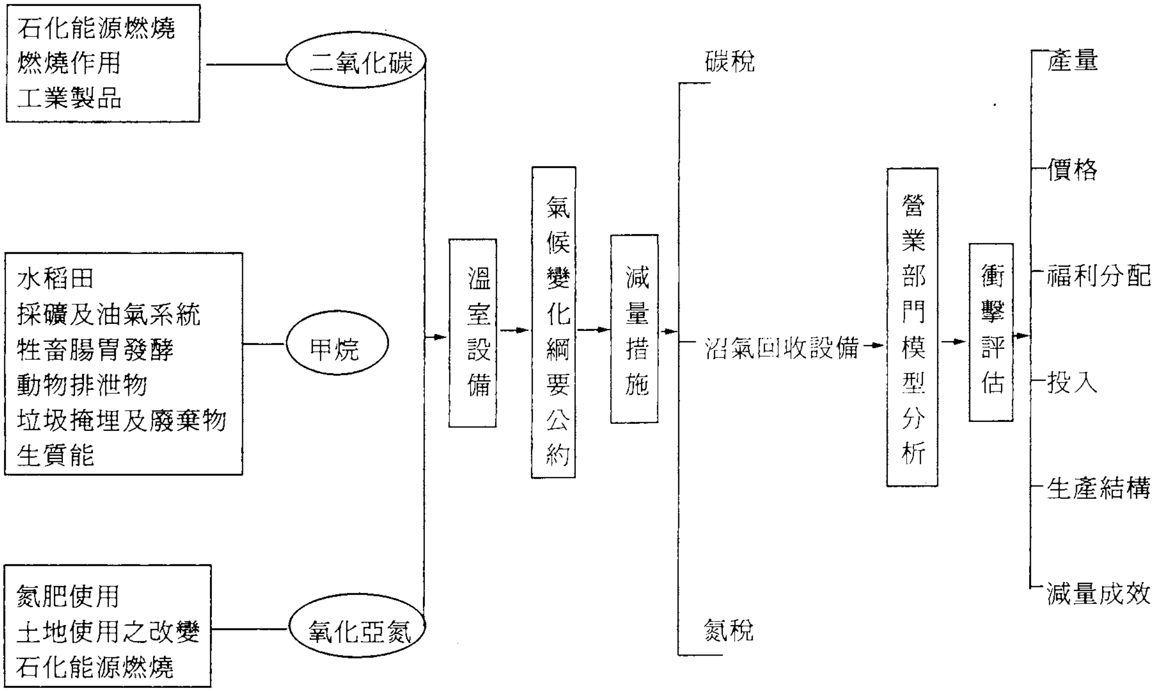
我國在氣候變遷的研究近年來已有許多研究成果陸續發表，在自然科學層面大多為大氣、海洋變化、溫室氣體排放源及排放量的估測(柳，1995，1996)，人文制度面的研究亦有許多初步的成果報告，主要著重於因應國際法規所造成的衝擊評估，諸如：許志義(1995)討論FCCC對台灣能源產業可能發生的衝擊及未來能源產業政策應有的方向，若台灣依照FCCC的要求，則電源開發與電力供應必受到極大的影響，對於經濟發展有相當負面的衝擊。張(1995)探討氣候變遷對經濟及產業面的衝擊，作規範性的研究，並對於碳稅的課徵作一敏感度分析，結果發現碳稅會提高能源價格，降低高碳能源的需求，並會改變產業結構。羅 (1995)討論FCCC對貿易本身及貿易體制的影響，發現燃料貿易及最終產品的貿易減少，國際間技術貿易增加，但對已開發國家之國際競爭力有不利的影響。李 (1997)之研究報告則指出碳稅之課徵將使得電力、天然氣、與石油煉製業等產品價格上漲之現象。

此外，黃 (1996)等之研究則著重在各種減量的經濟工具與參與國際合作策略之選擇，文中將減量工具分為：碳稅，排放許可制度、聯合減量等三種，並分別自有效性、公平性及可執行性三個角度來比較其優缺點所在。劉 (1996)探討減量對台灣人口分佈與都市發展之影響，文中並強調因應國際法規的減量工具對生產者與消費者所帶來之負擔不同，故按生產活動所選擇之策略與所訂定之標準會對家庭部門造成不公平的現象。

在農業方面，效益面的評估集中在分析氣候變遷對農作物產量所造成的直接影響，劉及郭 (1995) 曾根據過去七十年(1921-1991) 來之氣候資料作詳盡之統計分析，指出臺灣的氣溫正逐年上升中，但降雨量與相對濕度則呈遞減之趨勢，劉及郭 (1995) 中並利用計量迴歸方式分析氣候因素(包括氣溫、降雨量、日照、颱風等) 對臺灣農作物單位面積產量之影響，結果發現除了颱風對產量有顯著之負面影響以外，其它氣候因素之影響則皆不顯著。Wu (1996) 利用1952至1992年的氣候資料卻發現氣溫、降雨量等氣候因素對台灣稻米的產量有顯著且非線性之影響，其研究也預測溫室效應所造成的暖化將會降低台灣稻米的單位面積產量。由於Wu (1996)及郭(1995)所用之資料時間長短並不一致，且兩篇文章皆未探討二氧化碳增加對產量的正面貢獻，目前無法比較得到確實之結論，但蕭及吳 (1996) 接著利用台灣、日本與韓國歷年的跨國性資料，分析亞洲地區稻米產業生產力因氣候變遷所產生之變化，結果發現氣候暖化對台灣稻米的產量有顯著且負面之影響，對日本與韓國的產量則有正面之影響，因此大致而言，在不考慮農民可作調適及二氧化碳之肥化效用的情形下，溫室氣體之減少或減緩暖化現象對台灣的稻米產量應或多或少有正面之效益。

由上述效益面之報告雖可明顯看出全球氣候暖化對台灣稻米產量確實有不利且顯著之影響，但對於其它重要農產品之影響情形則無法看出，且分析架構集中於對作物產量之直接影響，沒有考慮到農家收入與利潤之變化，也無法反映出農民在面臨全球氣候暖化之同時所採用的一些調適行動或因應措施(例如：改變耕作方式、要素投入、作物組合等之調整)。根據Garcia *et al.* (1986)之說法，沒有考慮其它農產品固然可能會低估了減量之效益，但沒有考慮農民的調適行為也極可能高估了減量之效益。至於更進一步對全體農業部門之影響則尚在進行中，並未有任何研究成果發表。

成本面之評估文獻僅有張 (1995)、張及林 (1998)、以及Chang(1998) 三篇探討因應FCCC的各種減量策略對農業部門所產生的衝擊，張靜貞與林依瑩之研究著重在由碳稅或氮稅等經濟工具所導致的能源與相關投入價格上升對於農業所造成的影響，Chang(1998)則分析利用植樹來吸取大氣層二氧化碳計劃之可行性。張林文中首先建立一個包含八十餘種農畜產品之農業部門中長期預測模型，除了模擬各種減量措施實施時對農業部門的產量與價格、福利分配與區域生產結構所造成的影響以外，並計算農業部門本身對三種溫室氣體之減量貢獻，作為政策制定之參考依據，其整體分析架構可用《圖二》加以表示。



《圖二》溫室氣體減量對農業的影響－成本面之分析架構

農業部門模型係根據Samuelson (1952)與Takayama and Judge (1971)等人所發展之空間均衡(Spatial Equilibrium)概念所設計出來的數學規劃模型所建立，經過Duloy and Norton(1973)，McCarl and Spreen(1980)等人近三十年來的開發，將其應用在農業上而建立了具各種分析功用的農業模型。早期此類模型多半應用在資源規劃與發展策略之評估，近期之發展則多偏重在分析政府各種市場干預、所得補貼、或貿易保護政策的經濟影響程度(Chang *et al.*，1992)。近年來受到各國重視污染防治與環境保護政策之影響，亦促使此模型與各環保政策之結合，例如Adams *et al.* (1986)曾利用此類部門模型來分析大氣臭氧濃度之變化及相關之空氣品質管制政策對美國農業部門之好處，Adams *et al.* (1990)亦用類似方法來分析酸雨及氣溫變化對美國農業之影響。

在台灣此類型模型之建立已有初步成果，並已應用在農業政策與技術變動等分析上(張，1996；張及陳，1995)。主要的特點有三：(1)包含多種農畜產品，產值佔全國農畜產品產值將近90%，因溫室效應及相關的減量措施對農業的影響是全面性的，不可僅由少數作物的角度來評估其影響；(2)價格與產量在模型中均為內生決定的，即在資源(土地及勞動力)有限的條件下，運用自由市場供需均衡之調整機能來求得市場長期均衡解，因此可以將農業部門之調適行為予以反映出來；(3)此模型之技術面是建立在各生產活動的投入與產出之關係上，因此可以用來分析針對各項投入(能源、肥料等)所設定之減量工具，模擬各種減量措施實施時，對農業部門產量與價格、福利分析、區域結構的影響，作為政策制定之參考依據。

根據張及林 (1998)所作之實証分析，主要結果彙整於《圖三》中，在此僅以碳稅為例來說明二氧化碳的減量對農業各部門之衝擊程度可能有多大。農業生產過程中與碳稅直接關聯的能源費用雖然佔農業中間成本投

入比例不大，但若考慮其他會隨能源價格調漲而調整價格的相關性投入(如機工費、運輸費等)，則這些投入的上升有可能將會對機械化程度快速提升的農業部門成本面產生極大的影響，進而影響農業生產結構。就農產價格與數量變動而言，當成本投入上升，透過市場機能的運作，造成價格上升《表二》及產量與消費量的下降《表三》，福利分配之衝擊則發現消費者福利下降，但生產者福利卻上升《表四》。消費者福利下降的原因是價格上升造成消費者支出增加，消費者福利下降，生產者福利不降反升的原因是當投入成本上漲時，農民會轉作能源投入較少的作物，以改變作物組合來因應成本面的變動，在結果中特別發現，生產組合改為偏向勞動投入為主的作物，造成勞動需求上升及工資的上漲《表五》，因此，在生產者福利中，來自勞動所得的生產者福利大幅上升，抵消了因種植面積下降與投入成本提高對生產者福利之負面影響，因此造成生產者福利不降反升，但是另一方面這對原本已面臨勞動力老化及季節性勞工短缺的農業，可能造成極不利的影響，這種轉向勞動密集之可能發展趨勢值得進一步加以分析。區域結構則顯示出各地農業用地面積都會呈下降的趨勢《表五》，若從地區別來看，則以東部變動幅度較大，即在能源價格上升的過程中，東部所受到的衝擊最大，也顯示東部地區農業生產的調適能力較別區來得差。

減量工具	模擬結果
以碳稅來分析二氧化碳的減量	• 價格上升 • 產量與消費量的下降 • 消費者福利下降 • 生產者福利上升 • 勞動需求及工資的上升 • 能源與機工投入明顯下降 • 氧化亞氮之排放增加
以氮稅來分析氧化亞氮之減量	• 價格與數量增減幅度不大 • 消費者福利微幅上升 • 生產者福利則明顯下降 • 農作面積微幅下降 • 肥料使用量下降 • 二氧化碳之排放減少
養豬業增加沼氣回收設備來分析甲烷之減量	• 毛豬價格微幅上升 • 毛豬產量微幅下降 • 生產者與消費者福利微幅下降 • 能減少甲烷排放量六成 • 可能會加速中小養豬戶之淘汰

《圖三》溫室氣體減量對農業的影響－成本面之分析結果

《表二》　能源價格上升對價格指數之影響

	10%	20%	30%	40%	50%
農畜產合計	102.52	104.76	106.91	108.94	111.05
一、農產	103.08	105.89	108.54	111.01	113.60
糧食與雜糧	101.91	103.78	105.77	107.68	109.90
特用作物	102.17	104.41	106.37	107.99	109.31
蔬菜	104.10	107.87	111.38	114.72	118.22
水果	103.26	106.11	108.73	111.12	113.56
二、畜產	101.70	103.08	104.49	105.87	107.29

資料來源：張及林 (1998)。

《表三》　能源價格上升對生產量指數之影響

	10%	20%	30%	40%	50%
農畜產合計	96.87	95.44	94.30	93.30	92.31
一、農產	95.37	93.40	91.93	90.71	89.50
糧食與雜糧	87.93	85.66	84.60	83.86	83.07
特用作物	98.32	97.39	96.78	96.57	96.28
蔬菜	97.16	94.74	92.60	90.68	88.77
水果	97.96	96.26	94.82	93.59	92.43
二、畜產	99.09	98.45	97.79	97.13	96.46

資料來源：張及林 (1998)。

《表四》　能源價格上升對農業部門福利分配之影響

單位：百萬元

	基期年	10%	20%	30%	40%	50%
消費者福利(1)	1325211	1317896	1312013	1306471	1301320	1296008
生產者福利(2)	33290	39708	45545	51148	56417	62224
毛　福　利 (3)=(1)+(2)	1358501	1357604	1357558	1357619	1357737	1358232
政府支出(4)	22311	18132	17554	17507	17615	17725
淨　福　利 (5)=(3)-(4)	1336190	1339472	1340004	1340112	1340122	1340507
			變動百分率(%)			
消費者福利		-0.55	-1.00	-1.41	-1.80	-2.20
生產者福利		19.28	36.81	53.64	69.47	86.91
毛福利		-0.07	-0.07	-0.06	-0.06	-0.02
政府支出		-18.73	-21.32	-21.53	-21.05	-20.55
淨福利		0.25	0.29	0.29	0.29	0.32

資料來源：張及林 (1998)。

《表五》 能源價格上升對各地區農業用地與勞動投入之影響(註)

	基期年	10%	20%	30%	40%	50%
一、農業用地(千公頃)						
北部	113	111	108	107	104	103
中部	378	372	268	365	363	363
南部	399	386	377	372	372	368
東部	121	117	113	109	106	103
總計	1011	985	965	952	945	936
變動百分率%						
北部		-2.39	-4.69	-5.82	-7.76	-9.14
中部		-1.73	-2.81	-3.61	-4.10	-4.03
南部		-3.30	-5.42	-6.74	-6.64	-7.75
東部		-3.28	-6.59	-9.83	-12.40	-14.87
總計		-2.61	-4.50	-5.84	-6.50	-7.37
二、農業勞動(百萬工時)						
北部	63391	64367	65358	66288	67308	68345
中部	280960	284287	287312	290227	292923	295659
南部	321150	324937	328268	331421	334203	337716
東部	67819	68766	69692	70587	74260	72347
總計	733320	742357	750630	758523	768694	774067
變動百分率%						
北部		1.54	3.10	4.57	6.18	7.81
中部		1.18	2.26	3.30	4.26	5.23
南部		1.18	2.22	3.20	4.06	5.16
東部		1.40	2.76	4.08	9.50	6.68
總計		1.23	2.36	3.44	4.82	5.56

資料來源：張及林 (1998)。

註：北部有台北縣、桃園縣、新竹縣、苗栗縣；中部有台中縣、彰化縣、雲林縣、南投縣；南部有嘉義縣、台南縣、高雄縣、屏東縣；東部則有宜蘭縣、花蓮縣及台東縣。

在減量成效方面，因為能源價格上升會影響投入費用之結構，能源與機工之投入有明顯的下降變動《表六》，故整體而言，能源價格上升對農業部門能源使用有抑制作用，自然由農業部門所排放出來的二氧化碳也隨之減少。但另一方面，我們同時觀察到肥料使用亦隨生產結構之調整而增加，因而極可能導致農業部門所排放氧化亞氮亦隨之增加的「副作用」。如何避免或疏緩這種副作用之出現乃成為擬訂溫室氣體減量策略時應慎重考量之處，尤其是各種政策工具實施以後彼此之間的互補性或可能產生的衝突，都應在規畫階段即納入考量。

《表六》　能源價格上升時對各項投入費用之影響

單位：百萬元，%

	基期年	10%	20%	30%	40%	50%
能源費	1617	2148	2264	2407	2579	2701
實質費用(註一)		2041	1887	1852	1842	1801
變動率(註二)		26.22%	16.68%	14.50%	13.92%	11.36%
機工費	17275	16127	16530	16993	17582	18160
實質費用		15359	15027	14777	14652	14528
變動率		-11.09%	-13.01%	-14.46%	-15.19%	-15.90%
收割費	2823	2284	2341	2422	2506	2592
實質費用		2175	2128	2106	2088	2074
變動率		-22.95%	-24.61%	-25.40%	-26.02%	-26.55%
能源相關投入						
合　　計	21715	20656	21135	21822	22667	23453
實質費用		19575	19042	18734	18582	18402
變動率		-9.85%	-12.31%	-13.73%	-14.43%	-15.26%
肥料費	18586	22474	22403	22280	22157	21977
變動率		20.92%	20.54%	19.88%	19.21%	18.24%

資料來源：張及林(1998)。

註一：實質費用係將各項費分別用該費用價格上升率加以平減後所得之數目。

註二：變動率係指各模擬所得之實質費用與基期年實質費用的百分比差距。

其次針對氧化亞氮之減量，張及林(1998)二人所作之分析是以肥料價格的上升代表氮稅之課徵，肥料費為農業投入中重要的一項，其中又以蔬菜及水果對於肥料的依賴程度較大，分別佔中間投入之三成以上，因此，肥料費的變動預期將對於農作物產品中蔬菜及水果類作物影響程度較大。但是由模擬所得結果各類作物之變動情況加以比較，發現蔬菜、水果之價格與數量的增減幅度並不大，而糧食類生產則有增加現象，整體生產者福利以及肥料使用量皆呈下降現象，這些變化顯示由於肥料並無其它投入可以加以替代，生產者除了消極地減少使用量外，長期來說亦可以就現有之生產技術積極地自行設法吸收上漲的成本，或是透過作物組合之調整，或是改在肥料使用較少的地區來從事生產等方式來加以克服。

在福利分配方面之影響亦與碳稅之模擬結果截然不同，除了造成消費者福利微幅之上升外，生產者福利則明顯的下降。若由投入面來觀察，農作物耕地面積呈微幅之下降，而勞動力則無明顯之減少趨勢，主要是因為當肥料價格上升時，農作物的生產將會由肥料費相對較高的地區(或作物)轉到肥料費相對較低的地區(或作物)，這類移轉會伴隨著使用面積之減縮來共同抵消氮稅之衝擊，也因此生產者福利的下降主要是肇因於農地之釋出及農地報酬之減少。

使用課徵氮稅作為溫室氣體減量之政策工具，張林二人發現在現有之技術下，生產者必須透過作物組合或是生產區域之調整來

加以因應，肥料使用量的明顯下降不但對氧化亞氮排放減量有所貢獻，也同時對能源節約與二氧化碳之排放減量有少許正面貢獻。不過如楊盛行(1996)之建議：多利用有機肥料、不過度施肥、部分使用緩效性氮肥及添加硝酸鹽生成之抑制劑等技術上之突破未來仍值得吾人注意並作較為深入之探討。

最後針對甲烷之減量，張及林(1998)曾以養豬業增加沼氣回收設備作為減量策略加以評估，這些設備投入成本的上升會造成毛豬價格上升與產量下降，但因沼氣回收後亦有發電、保溫等功能，對生產者福利與消費者福利僅有極微幅之下降，因此，此種環保設施之增設對於整體社會而言不會造成太多經濟上負面的影響，但另一方面，由於此減量措施能有效抑制甲烷的排放量，故經濟上負面的影響可被此正面效益抵消。若就減量成效來看，沼氣回收設備的利用能減少目前甲烷排放量之六成以上，效果十分顯著。此外，沼氣回收設備若能達到規模經濟，且考慮回收沼氣所帶來的效益，未來沼氣回收成本可能極少，甚至可能轉為有淨效益，那麼此減量措施未必造成毛豬飼養頭數之減少，反而有可能會加速中小養豬戶之淘汰，這種規模上的結構性變化，值得進一步研究。

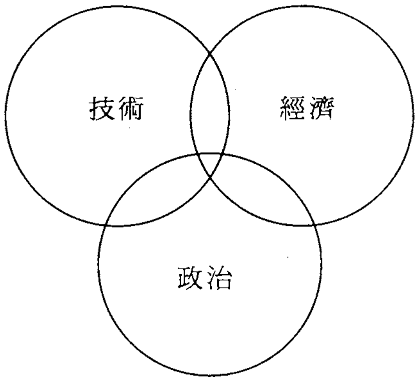
在植樹計畫之可行性評估方面，初步結果發表在Chang(1998)，根據文中指出在方法上必須將前面所建立之台灣農業部門模型予以擴充，納入台灣各地區林業生產與砍伐部門，藉以分析利用植樹來吸取大氣層二氧化碳計劃之可行性。除了搜集林業部門之造林、砍伐、加工、進出口等產銷過程所發生的收益、生產成本、價格與單位面積產量等資料外，亦將有關林業部門之產銷活動以及所使用之土地、勞動力等狀況納入擴建之台灣農業部門模型中的林業產品市場與主要投入要素市場中，並且要搜集各種類樹木成長期間每立方單位材積所可吸收之二氧化碳，作為模型分析植樹計劃供給面之依據。最後再根據政府相關單位所設定或選取的二氧化碳吸取目標，作為植樹面積需求面之依據，並依供需均衡原理來求得最適之植樹面積均衡解。由於所建立之部門模型具有計算社會福利及其分配之能力，可根據均衡解求算社會福利分配值，作為評估此項植樹計劃之邊際成本與邊際效益之基準，以及植樹計劃本身對降低溫室氣體之貢獻，這些結果也同時用來評估政府鼓勵農地造林所實施之補貼政策。

根據Chang(1998)所建立之農林業部門模型之初步估算結果，目前台灣的森林分佈狀況每年約可吸取25百萬公噸二氧化碳，因此報告中以25百萬公噸作為起始點，分別設定5、10、15、20、25、30百萬公噸的二氧化碳吸取目標來模擬。由實証結果得知，若以吸取5百萬公噸為目標，成本非常低，因為此時僅需要調整現有森林之樹種極可達成目標；若以10百萬公噸為目標，則吸取成本約合每公噸20美元，因為此時必須將20萬公頃未造林之林地加以植樹造林。若吸取目標超過10百萬公噸，則必須有農地加入造林行列，且單位邊際成本也逐漸遞增，特別是超過25百萬公噸時。就目前的全民造林之補貼標準而言，應可達到吸取10-15百萬公噸的目標，若依黃及方(1993)的估算台灣必須減少127百萬公噸二氧化碳方能符合FCCC的要求，此吸取量約達預計減量目標的十分之一，但在政府造林預算之限制下，此目標可能無法達成。

伍、結　語

回顧近年來有關溫室效應及減量措施對農業生產的經濟影響評估文獻，我們可發現無論在分析方法或資料上仍有許多待改進之處。首先，全球氣候的變遷對農業生產的經濟影響評估不能與大氣、海洋、農藝等科技研究脫節，評估之結果也必須能提供政府決策者制定減量策略及因應措

施之參考，故技術，經濟及政治三個層面的研究皆有其重要性，如《圖四》所示，但其間的關聯性一定要在研究中加以闡明，方稱為一個完整的研究架構。技術方面的研究強調的是澄清氣候變遷與農業生產之間的關係，並對各種減緩或調適技術提出建議；而經濟面的分析則以減量時所用各種技術或經濟工具之成本與效益為主，除了計算比較各種減量工具成本與效益的大小外，更重要的是能判斷出那些人或地區會受到損失，那些人或地區會獲利，如此方能協助決策者在兼顧公平與效益的原則下作政策上之抉擇；政治面的分析則除了考慮技術與經濟層面之均衡外，亦必須考量各政治利益團體之間錯綜複雜的權衡利害關係。



《圖四》溫室氣體減量研究的三個層面

其次，在成本面的分析方面，待改進之處除了建立一個完整研究架構外，目前大多數實証研究多偏重單一國家的評估，很少有跨國性之研究成果，因此無法看出國與國之間的利害關係與差異所在，也造成國際談判上許多爭議的發生，因此對設定全球減量標準與尋求國際合作策略上仍有許多待這類全球性研究來加以突破。

第三，在效益面的方析方面，待改進之處仍是集中在如何評估氣候變遷所造成之損害程度，諸如：長期損害與短期損害之劃分、涵蓋項目的多寡、計算範圍的極限如何界定、與其他非氣候所造成之環境問題應如何加以澄清、……等等，另一方面尚待改進之處則是因應與調適策略之研究，這方面研究受資料上的限制，僅有少數地區有資料可供研究，同時在研究方法上也待突破，方能在資料有限的情況下提供最具意義之分析結果，而臺灣本土之研究更亟待開發。

最後，在政策分析層面，現有研究文獻雖提出一些減量策略成本效益之比較，但這些減量策略之間的衝突與互補性差異很少，更缺少的是這些減量策略與現行的其他政策(價格補貼、休耕補貼、進出口保護、關稅自由化、肥料產銷民營化、作物保險制度等)之間關係的研究、減量策略所造成之所得分配效果、以及對政府財政收支平衡的影響(Repetto, et al.，1992)等方面也亟待更多的學者繼續共同合作努力。

陸、引用文獻

李秉正. 1997.「溫室效應防治政策對台灣的經濟影響評估」，發表於黃宗煌主編因應溫室效應之經濟工具及其經濟影響研討會論文集. p.97-120。新竹：清華大學人文社會學院台灣研究室與台北：中央研究院經濟研究所。

柳中明. 1995.「全球氣候變遷對台灣之影響與因應初探」。發表於全球氣候變遷對台灣之影響與因應研究規劃研討會。台北：台灣大學。

柳中明等. 1996.「氣候變化綱要公約之國家通訊建議稿(部份文章)」，全球變遷通訊 10：1-16。

柳中明等. 1997.「國際壓力對我國參與溫室氣體排放減量之可能時程與目標量預測」，全球變遷通訊16：17-21。

張四立. 1995.「氣候變遷的經濟及產業結構衝擊分析」。發表於氣候變遷的衝擊：制度與人文面向研討會。台北：台灣大學。

張靜貞 陳吉仲. 1995.「農業保護政策與生產結構變動對台灣農業部門福利分配之影響」，發表於民國八十三年中國農村經濟年會，並刊載在臺灣土地金融季刊32(第1期，NO. 123)：67-82。

張靜貞. 1996.「台灣農業部門模型與其在政策分析之應用」，國科會八十三年度經濟學門專題計劃研究成果發表會論文集. p. 27-56。

張靜貞 林依瑩. 1998. "溫室氣體排放減量對台灣農業部門之影響"，臺灣經濟學會年會論文集, 1996。

許志義. 1995.「課徵碳稅對台灣經濟影響之分析」，行政院國科會。NSC84-2415-H-170-001。

黃宗煌. 1996.「溫室氣體排放減量政策公具之形成與比較」。行政院國科會計畫報告編號85-2621-P007-003。

楊盛行. 1996.「溫室效應機制及預測——因應『氣候變化綱變公約』之整合計劃：(2)我國森林吸收CO_2之涵容估算和我國溫室氣體中烷與氧化亞氮排放與IPCC估算之差距，期中報告。行政院環境保護署補助研究計劃。EPA 85-1003-09-13。

葉俊榮. 1995.「氣候變遷的國際法規範」。行政院環保署。EPA-84-E3U1-09-03。

劉克智. 1996.「溫室氣體排放減量對台灣人口分佈與都市發展之影響」。行政院國科會計畫報告編號84IA01E059。

劉錦添 郭秋雲. 1995.「氣候因素對臺灣農業生產的影響，1921年至1991年」，發表於劉翠溶與矧伊懋可主編積漸所至一中國環境史論文集，p. 633-672。台北：中央研究院經濟研究所。

羅昌發. 1995.「全球氣候變遷之國際規範對貿易本身及對貿易體系之影響」。發表於氣候變遷的衝擊：制度與人文面向研討會。台北：台灣大學。

蕭代基 吳慧瑛. 1996.「溫室效應對稻米產量之跨國分析」。行政院國科會計畫報告編號NSC85-2621-P001-005。

謝志誠. 1997.「經濟大風暴前的寧靜「氣候變遷綱要公約」的衝擊與省思」，全球變遷通訊。16: 21~29.

Adams, R. M., S. A. Hamilton and B. A. McCarl. 1986. The Benefits of Air Pollution Control : The Case of Ozone and U.S. Agriculture. American Journal of Agricultural Economics 68: 886-894.

Adams, D.M., R.J. Alig, B.A. McCarl, J.M. Callaway and S. M. Winnett. 1996. An Analysis of the Impacts of Public Timber Harvest Policies on Private Forest Management in the U.S. Forest Science 32: 119-134.

Adams, R.M., et al. 1990. Global Climate Change and U.S. Agriculture. Nature 345: 219-224.

Adams, R.M., C.C. Chang, B.A. McCarl and J. M. Callaway. 1992. "The Role of Agriculture in Climate Change: A Preliminary Evaluation of Emission Control Strategies." Chapter 15. Economic Issues in Global Climate Change: Agriculture, Forestry, and Natural Resources. J.M. Reilly and M. Anderson, eds., Westview Press, Boulder, Colo.

Adams, R.M., D.M. Adams, J.M. Callaway, C. C. Chang and B.A. McCarl. 1993. Sequestering Carbon on Agricultural Land: Social Cost and Impacts on Timber Markets. Contemporary Policy Issues 11: 76-87.

Amstel, A. R. and R. J. Swart. 1994. Methane and Nitrous Oxide Emissions : An Introduction. Fertilization resource, 37: 213-225.

Antle, J. M. 1995. Climate Change and Agriculture in Developing Countries. American Journal of Agricultural Economics, 77: 741-746.

Bowes, M. and P. Crosson. 1991. The MINK Project, Report VI, Consequences of Climate Change for the MINK Economy: Impacts and Responses. Washington DC: Department of Energy Carbon Dioxide Research Program.

Chang, C. C., B. A. McCarl and J. Richardson. 1992. Sectoral Implications of Program Modifications American Journal of Agricultural Economics 74: 38-49.

Chang, C.C. 1998. The Cost-Benefit Analysis of Greenhouse Gas Emission Reduction and Carbon Sequestration by Tree Planting on Agricultural Land. National Science Council Research Project Report No: NSC86-2621-P001-0099.

Darwin, R., M. Tsigas, J. Lewandrowski and A. Raneses. 1995. World Agriculture and Climate Change: Economic Adaptation. Washington DC: U.S. Department of Agriculture, ERS Agricultural Economics Report NO. AER-709.

Duloy, J. H. and R. D. Norton. 1973. CHAC:A Programming Model of Mexican Agriculture. Multilevel Planning: Case Studies in Mexico. p.291-337. L. Gorenx and A Manne, ed. Amsterdam: North Holland Pub. Co.

Garcia, P., B.L. Dixon, J.W. Mjelde and R.M. Adams. 1986. Measuring the Benefits of Environmental Change Using a Duality Approach: The Case of Ozone and Illinois Cash Grain Farms. Journal of Environmental Economics and Management 13: 69-80.

Innes R. and S. Kane. 1995. Agricultural Impacts of Global Warming : Discussion. American Journal of Agricultural Economics 77: 747-750.

IPCC, 1996. Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.

Kaiser, H. M. and P. Crosson, 1995. Implications of Climate Change for U. S. Agriculture. American Journal of Agricultural Economics 77: 734-740.

Kaiser, H. M. et al. 1993. A Farm-Level Analysis of Economic and Agromic Impacts of Gradual Climate Warming. American Journal of Agricultural Economics 75: 387-398.

McCarl, B. A. and T. H. Spreen. 1980. Price Endogenous Mathematical Programming As a Tool for Sector Analysis American Journal of Agricultural Economics 62: 87-102.

Mendelsohn, R., W.D. Nordhaus and D. Shaw. 1994. The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis. American Economic Review 84:753-771.

Mendelsohn R., W.D. Nordhaus and D. Shaw. 1996, Climate Impacts on Aggregate Farm Value: Accounting for Adaptation. Agricultural and Forest Meteorology 80: 55-66.

Mendelsohn R., W.D. Nordhaus and D. Shaw, 1998, Chapter 4: Agriculture - The Richardian Approach. Robert Mendelsohn and James Neumann (eds.) The Impact of Climate Change on the U.S. Economy, (forthcoming).

OECD. 1991. Climate Change: Evaluating the Socio-Economic Impacts. Paris, France.

OECD. 1992. Global Warming: The Benefits of Emission Abatement. Paris, France.

Qureshi, A. and D. Hobbie, 1994. Climate Change in Asia : Executive Summary. Manila : Asian Development.

Parks, P.J. and I.W. Hardie. 1995. Least-Cost Forest Carbon Reserves: Cost Effective Subsidies to convert marginal Agricultural Land to Forests. Land Economics

71: 122-136.

Reilly, J. N., N . Hohmann and S. Kane. 1994. climate Change and Agricultural Trade: Who Benefit, Who Loses ? Global Environment Change 4: 24-36.

Reilly, J. 1995. Climate Change and Global Agriculture : Recent Findings and Issues. American Journal of Agricultural Economics 77: 727-733.

Repetto, R., R.C. Dower, R. Jenkins and J. Geoghegan, 1992. Green Fees: How Tax Shift Can Work for the Environment and the Economy, Washington, DC: World Resources Institute.

Rosenzweig, C. and M. C. Parry. 1994. The Potential Impact of Climate Change on World Agriculture. Nature 367: 133-138.

Smuelson P. A., 1952. Spatial Price Equilibrium and Linear Programming. American Economic Review 42: 283-303.

Takayama, T. and G. G. Judge, 1971. Spatial and Temporal Price and Allocation Models. Amsterdam: North Holland Pub. Co.

Wolfe, D. W. and J. D. Erickson, 1993. Carbon Dioxide Effect on Plants: Uncertainties and Implications for Modeling Crop Response to Climate Change. Agricultural Dimensions of Global Climate Change. p.153-178. H. M. Kaiser and T.E. Drenne, ed. St. Lucie FL:St. Lucie Press.

Wu, H. 1996. The Impact of Climate Change on Rice Yield in Taiwan. Chapter 4 in The Economics of Pollution Control in the Asia Pacific. Edward Elgar Publishing.

Chapter 11 The Economic Impact of Global Climate Change and Emission Reduction Strategies on Agriculture

Ching-Cheng Chang
The Institute of Economics, Academia Sinica
Department of Agricultural Economics, National Taiwan University

ABSTRACT

A doubling of atmospheric concentrations of carbon dioxide or its equivalent in CO_2 or other trace gases is expected to occur in fifty to one hundred years due to rapid industrialization. Climate is a major determinant of both the location and productivity of agricultural enterprises. As a source of trace gases including CH_4 and N_2O, agriculture is also identified as an area of concern in the current public policy discussions and research projects dealing with the potential effects of trace gases emission control strategies. In addition, there is a growing interest in the use of agricultural land as a potential sink for carbon through the establishment of forest plantation. To assist the public policy decision makers in reducing greenhouse gas emissions and addressing the consequences of global warming, economists have to provide timely assessment of the possible impacts of climate changes, as well as costs and benefits of alternative emission reduction strategies. This chapter presents a brief survey of the present literature on economic evaluation on climate change during the past decade. Both the cost and benefit on emission reduction strategies are evaluated and an attempt will be made to highlight the directions for future research.

Key words: Global warming, Agricultural production, Public policies, Economic evaluation, Cost, Benefit.

氣候變遷對農作物生產之影響
第12章　作物生產模式預測
183-190, 1998

第十二章　作物生產模式預測

林　正　錺
國立中興大學土壤環境科學系

摘要……184
壹、前言……184
貳、基礎作業……185
參、一些分析作業上的考量……186
肆、適應策略……187
伍、模式應用實例……187
陸、模式應用的優缺點……188
柒、結語……188
捌、引用文獻……188
英文摘要……190

第十二章 作物生產模式預測

林 正 鎊
國立中興大學土壤環境科學系

摘 要

本章內容以美國國家研究團(U.S. Country Studies Management Team(PO-63), 1994)對於一個國家或區域在研究氣候變遷時，評估受害性與調適對策可遵循的準則為主，特別選擇其中對於使用作物生長模式為工具進行評估之建議，再配合作者在其建議之作物生長模式方面的相關研究經驗(林, 1986, 1989, 1990; 林及蔡,1994；林等, 1995, 1997)構成本文之撰寫。按該研究團之推薦，IBSNAT所發展之DSSAT模式為最適宜應用於研究氣候變遷對糧食生產影響的工具。本章即針對該模式的應用方向及其意義作一介紹，以為後續研擬未來工作計劃之參考。本文內容以前言為範圍，然後按前言內容進一步說明相關的細節。最後的結語除了確立模式應用的必要性外，也提出未來可能的發展方向。

關鍵詞：作物模式，氣候變遷，模擬策略。

壹、前 言

以作物生長模式模擬氣候變遷對農業生產的影響，已是不可或缺的手段之一。這情形可說是農業系統分析者，在八十年代之初發展作物生長模式，用於模擬作物產量，以為提供農業技術發展與轉移之餘，一個切合時宜的轉變。

模擬氣候改變對於區域性農業生產的影響，需要整合各類數據、各種軟體、以及不同學門之專家學者的意見。研究者首先須確立區域地理位置，以進行氣候、土壤、以及作物栽培與經營管理的資料收集。利用這些資料進行包括系統測試、檢定、驗證等一系列電腦程式分析，以作為後續應用於氣候變遷相關研究之基礎。

模擬作物生長及氣候改變狀況的模式可以用來評估產量的變化，但需要一套想像的氣候變遷數據，研究者可參考其他研究推測，虛擬定出一套合理的氣候變遷情況。模擬結果即可用來和原有的結果以及其他區域的結果做一比較。以作為變遷因素的研判依據。

因為預測的氣候變化具有不確定性，研究者通常利用各種想像的氣候狀況來評估氣候如何影響農業生產。此外，靈敏度分析(sensitivity analysis)也可用來評估系統中的重要參數，例如有關氣候因素的參數對產量變化的影響程度及重要性。

有了產量變化的結果，進一步可以用在各種不同目的與形式之評估，例如：

(1)利用農業經濟模式來評估農產品之產銷物種類的改變及對社會經濟的衝擊。

(2)對易受衝擊區域中之重要農產品的

變動，進行供需的評估，以防範未然。

(3)分析對氣候變化之適應程度。以作為建議改變耕作方式，如灌溉、種植時間、作物種類，或育種方向及倉儲政策的依據，減少氣候變化的不利衝擊。

(4)藉瞭解氣候變化對各個區域或全國性農業的衝擊，提供農業發展的決策者規劃適應策略。

上述內容概略的闡述了利用作物生產模式，研究氣候變遷對農業生產之影響的基本概念。

貳、基礎作業

在進行大規模之模式模擬應用之前，先進行一些初步的調查與專家意見看法的調查，以作為模式應用區域與目標的擬定，對於後續工作有相當的助益。一如本計畫的執行一般，先對國內外的資料進行收集與編寫，才能了解問題所在，並進一步確定研究方向與策略。

一、　初步的評估

初步的評估可藉諮詢或問卷方式進行，以國內農業專家的判斷為依據，從氣候改變對作物受害可能性的評估開始，進行一系列的諮詢與調查。這種作業方式，也是一種專家系統的建立。

這種評估的目標之一，就是篩選出需要進一步研究分析的地區。在模式無法使用，或沒有資料可供進一步分析的情況下，甚至可以用這種初步的評估取代模式的研究方法。

初步評估可包含以下數個目的：(1)確認易受氣候變化衝擊的區域與作物種類。(2)衡量其可能遭受衝擊的程度，並檢討其原因。(3)在目前的氣候下，與其他環境類似但氣溫不同的區域進行比較，以推估將來氣候改變的影響。(4)將影響程度以半定量方式表示，如：正、負，或是對作物產量沒有影響。(5)可進一步驗證可能的調適對策，並明確地研究它的有效性及成本。

有若干方法可有效獲得初步評估分析所需的專業知識。這些方法包括：問卷調查、研習會、專題討論以及從特定部門蒐集的報告。農藝學家和農業經濟學家都能分別提供關於氣候變遷對作物生理及社會經濟可能產生之衝擊的有用資訊。

二、模式的使用

模式的使用相當廣泛,從早期的統計模式到近期的解析模式,都有人在研究應用.由IBSNAT所整合，其後ICASA接手的作物生長模式較具代表性,此處以這些模式為主作一介紹。

IBSANT-ICASA(International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer-International Consortium for Application of System Approach)兩大計畫集團所發展的作物生長模式，可輸入特定的氣候、土壤和作物資料來模擬各種環境因素改變所產生的影響，因此可以用來研究不利農業生產的各種潛在因素。

運用此模式之有利因素為：(1)已經在全球廣泛性的應用下，呈現相當程度之準確度，(2)使用便利，(3)具有一致性的輸出輸入因子，使結果容易比較，(4)具量化性決策支援系統，可允許廣泛的氣候變化狀況之測試，例如CO_2濃度的增加及農地生產變因的調適。美國國內研究計畫團鼓勵每一位國家農業研究員去使用此套評估系統。

此研究方法可藉由單一區域作物模式評估結果，延伸至大區域或整個國家，以評估氣候變化的衝擊。IBSANT-ICASA模式是將有關植物生長及發育、蒸發散作用、光合產物在植體間的分配，以及經濟產量的形成等等重要生理過程，予以含數化而成的一個系統模式。藉由這些函數可估算一些影響產量的主要因子，亦即，遺傳和氣候(如日射量，每日最高溫及最低溫，土壤透水量及管理)對作物生長的影響。此模式包含一平衡土壤含水量之副程式，因此對缺乏灌溉設施或有灌溉設施的地區，都能進行產量估算。這個模式也可以模擬氮

肥對作物生長的影響。而其模擬產生的土壤含水量之改變可與另一個水資源模式所計算出來的結果進行比較。

IBSANT-ICASA模式總稱為DSSAT(Decision Support System for Agrotechnology Transfer)，為一廣泛的作業程序系統。在DSSAT3.1版中共包含十六種作物生長模式與氣候、土壤資料以及各方面的應用程式做一整合。DSSAT在氣候變遷研究中為整合資料庫和作物模式的主要工具。此軟體目的為幫助使用者在不同土壤、氣候、及管理狀況下對作物生長、發育及產量的研究。此軟體為一便利之軟體，其外部程式常駐於電腦記憶體中，使用者可藉由螢幕選取欲使用之程式。此系統的三個主要元件為作物模式、資料庫及作物之試驗數據。使用者可輸入明確的試驗地區資料，並有效地模擬作物生長情形或進行敏感度分析。

實際執行研究的工作包括：輸入執行IBSNAT-ICASA作物模式所必需的土壤和作物管理數據；界定試驗區域並估計該地區現有主要作物的產量；執行模式以比較在背景氣候和在變遷氣候下之作物生長與產量；評估 CO_2 對作物生長及有灌溉設施可用時的作物產量之直接影響；進行敏感度測試及評估適應對策比較在變遷氣候下之模擬結果與其他模擬結果的差異；（例如：生長期間之降雨量與蒸發散量），和從氣候變遷模式及其他評估系統所需之灌溉水用量；確認和評定那些栽培管理措施的改變，可以減少氣候變遷所產生的不良影響；結合農業和經濟學者的合作，從作物模擬結果中推論出氣候變遷對經濟的影響。

三、所需資料

IBSNAT-ICASA 模式需要下列的資料來執行。而這些輸入的資料彼此間具有高度的相關性。

(一)土壤

需要每個地點的土壤分類，且能認定出土型(如淺度、中度、或深度坋質粘土；坋壤土、砂壤土、或砂土)，連同每一地點的土壤特性。若某地點的土壤特殊不同於一般的土壤，可以接近的土壤性質替代。

(二)氣候

不論要驗證模式，或模擬背景氣候或變遷氣候下的作物生產，至少都需要三十年以上的氣象紀錄。內容必須包每日最低及最高氣溫、降雨量及日射量。如果缺少日射量的紀錄，可以從每日日照時數去推估。IBSNAT-ICASA模式中包含有一個氣象模擬副程式，能用來模擬產生每天的日射量及其他氣候變數。

(三)其他輸入資料

所在地的經緯度、栽培最廣的品種、栽植密度、行距、耕犁深度、種植日期、及可供驗證模式的作物試驗數據等等。

(四)作物種類

作物模擬者應針對他們國家最重要的輸出作物及主食作物進行研究，在世界糧食貿易或自給自足的農業體系中最重要的作物是小麥、玉米、大豆及稻米。此外，高粱、粟、大麥、花生、豆類、馬鈴薯及樹薯有其重要性。

(五)校正及驗證

執行IBSNAT-ICASA作物模式之前，必須根據DSSAT使用手冊所規範的程序，以各地區之田間試驗數據進行模式中各項參數的校正，並驗證模擬結果的準確性。

參、一些分析作業上的考量

一、驗證區域

模擬研究必須先界定條件相似的生產區域。所謂相似的條件是指土壤、氣候、水資源、土地利用及耕作方式等方面的相似。如果有足夠的氣候與作物資料可以同時研究兩個或兩個以上之區域，此將有助於驗證氣候不同時所造成的區域內差異。其次，必須由各主要農業區所選出一些已有所需資料的代表地點。可能的話，這些地點最好分別能代表各主要農業區內低、

中、高等各種不同的生產力等級。

二、歷史資料及變遷劇本之設計

供模式模擬的氣候變遷劇本（例如：每日的最高及最低溫及每日的日射量這些可用於IBSNAT/ICASA模式的氣候資料。）可由背景氣候的氣象紀錄加以修改而導出。其中有些是可以任意改變，而有些則可由GCMS等大氣環流氣候模式模擬產生。

藉由在一系列氣候變遷劇本下之模式模擬結果的分析，可以找出作物受害的關鍵。改變氣候的波動性，例如改變乾旱及暴雨發生的頻率，會大大影響作物的產量。如果可能的話，諸如此類的改變均須一一加以測試。

三、模式模擬之試驗設計

每個區域都可用各地區的歷史資料及氣候變遷模擬資料執行IBSNAT -ICASA作物模式，執行之難易將取決於可獲取的資料範圍。可用以設計試驗之變因很多，下面舉二氧化碳及水資源變化影響為例，概略說明模擬研究的基本功能。

㈠二氧化碳濃度影響之模擬

二氧化碳濃度的增加將有助於作物生長及水分利用。CERES-Wheat，CERES-Maize，SOYGRO及其他IBSNAT-ICASA作物模式皆已修改成可模擬大氣中二氧化碳濃度增加時，光合作用及蒸發散量的改變情形。這些模式能產生氣候變遷及二氧化碳濃度增加對作物生長及水分利用的影響。

㈡有灌溉下之耕作制度

如果在現行氣候下該地為有灌溉之耕作制度，或是預測在氣候變遷過程中該地將慢慢變為乾旱，則缺水及有灌溉下之耕作制度皆須模擬。在氣候變遷劇本下執行模擬的結果會產生該地農業用水的需求將如何隨著氣候之變遷而變化的重要估計結果。

肆、適應策略

在農田耕作管理上，有許多可供選擇的辦法，對於氣候改變的適應有其特定的效益。這些選擇包括：改變種植的日期、改種比較能夠應於新氣候的作物、改良品種使其更適宜新的氣候、改變作物輪作的方式、肥料的運用。假如這個區域有灌溉系統，則可設法提高加強灌溉水的利用效率。假使這個區域沒有灌溉系統，則可以裝設灌溉系統來使用。

這些調適措施可使用ISBNAT/ICASA作物生長模式來測試，以針對氣候改變的情形，選擇適當的策略。DSSAT模式包含有此功能，可以事前分析因改變耕作方式農民可能遭受到的風險。

這個作物模式中有些作物生理參數，和品種基因型有關。因此也能用在遺傳資源的探查上，以協助培育適合於氣候變化後栽種的品種。各種可能的策略都應加以評估，並且須考慮到實際的效益。

伍、模式應用實例

DSSAT作物模式在世界各地的使用極為廣泛，在台灣由筆者過去執行的研究計畫，亦對其中的大豆、玉米模式有深入的研究。從模式結構分析、子程式測試、校正、驗證、田間實驗等一序列的研究，到應用於生產潛力的模擬等。這些經驗對於將模式轉用於氣候變遷的影響，應具參考意義。下面即以大豆生長模式應用研究為例作一說明。

本研究之目的乃以大豆生長模式SOYGRO評估生產潛力，估算台灣地區受不同溫度與日照條件的影響所能達到的生產潛力，以為農地規劃利用之參考。相同的作法也可應用於氣候變遷下，日照與氣溫型態改變對大豆生產的影響。分析方法是以遍佈台灣各地區之78個觀測站，取每日最高溫、最低溫及輻射量等基本氣象資料，以19個大豆品種，全年分24個播種期，進行各個觀測站4～10年不等的模擬試驗，以全面評估台灣地區大豆之適栽地、適栽期

及可能之最高產量。

模擬結果發現：(1)總括19個品種之模擬產量，只要配合適當的播種期，在無氣象災害及適宜的栽培管理下，台灣各地區皆有3500kg/ha以上的生產潛力。適當的播種期分佈在2月至6月，需視品種的特性而定。然而五、六月間正逢颱風與梅雨季節，栽種風險高，實際田間產量不及預測者高。(2)區域性生產潛力分析，若以各品種綜合表現出的最大生產潛力年平均為考量角度，則以雲嘉南地區3524kg/ha最高，其後依次為高屏地區3502kg/ha，中部3373kg/ha，台東3144kg/ha，花蓮2919kg/ha，北部2914kg/ha最低。若以本省普遍栽種的高雄8號品種之年平均生產潛力為考量角度，則以雲嘉南地區最高，為2284kg/ha，花蓮最低，為1994kg/ha，因此各地區之差距不大。(3)播種期之生產潛力分析，若以最大生產潛力年平均為考量角度，最佳播種期在3月至6月，潛力在3500～4300kg/ha之間；9月中旬以後播種者，則均在2500Kg/ha以下。若以高雄8號之生產潛力為考量角度，則以4、5月為最佳播種期，各地區潛力可望在2400～2800kg/ha，8月以後播種者，潛力已降至2000kg/ha以下。(4)三期作生產潛力分析結果，一般以夏作最高，春作次之，秋作最低，然亦有春作潛力高於夏作之品種與地區。模擬分析亦顯示：春作、夏作若能配合適當優良品種，單位面積產量可增加1倍之多，即4000kg/ha左右，而秋作則不超過500kg/ha。

類似的模擬研究，可完整提供氣溫升高或雨量與日照改變之下，整個台灣地區不同作物所受到的影響。節省許多田間實驗與資料收集的人力物力。其廣度與深度均比小規模試驗來得大。

陸、模式應用的優缺點

一如其他各種模式的應用一樣，模式的功能在於對不能或不易掌握的時空現象，提供模擬研究與預測，以為對策研擬之依據。模式的模擬有其理論上的依據，但也受限於理論發展的極限，而有其使用上的先決條件。

使用IBSNAT-ICASA作物模式的主要優點之一是因為這個模式的開發與驗證，係由全球各方面的科學家共同參與，因而此模式已可適用於多種不同的氣候，栽培品種和耕種方法。此外，這個模式在輸入和輸出的設計上比其他作物模式更易於作調適對策之效益的驗證。

這個模式還具有經濟分析的功能，因而可以從作物模式在生物物理上所推測的變化，估算其對農業生產體系之投入與產出之市場價格的影響，經濟分析能在商業機會或市場價格改變時提供生產者、消費者、和資源擁有者減少損失或增加收益的調適對策。經濟分析也能跨越空間和時間的限制對社會提供獲利和損失或利潤與成本的資訊。由於作物模式與經濟模式的結合使這個模式具有較高的洞察力，可觀察社會層面之糧食生產及氣候變化可能的影響。

IBSNAT-ICASA作物模式的在使用上限制就是需要輸入詳細的參數值。而這些參數的詳細資料有時很難得到，或者即使得到也可能是無效的。然而透過向專家們的諮詢常可解決這種問題當使用者發現模式的一些特定假設條件無法適用於他們的環境或狀況時，向專家們諮詢也能獲得極大的幫助，這類人員須具有系統分析背景，在國內較為缺乏，但以過去國內應用該模式的經驗，應可克服這一困難。

柒、結　　語

對利用模式進行研究的人員來說，能與其他學門相互交流，是擴展作物模式應用領域的一種有效方法。例如：作物模式的輸出結果可與水資源經濟分析結果相結合，以研究灌溉可能的效益改變及在農業

生產區域之水需求的競爭。土地利用規劃人員在沿岸地區可利用作物模式數據，來研究因海平面上升所造成該區域土地損失，以及鹹水的入侵。

IBSNAT-ICASA模式所包括的作物種類有限。是否需增加作物種類，以滿足台灣百餘種栽種作物的需求，固然值得商確，但除了IBSNAT-ICASA模式外，有些其他機構開發的模式可和IBSNAT-ICASA模式併用，以增加包括蔬菜與水果之類的作物種類，廣泛開發作物模式應用範圍。然而這種過程通常需要較多時間，和適當的專業研究人員的配合。考量應用模式所能獲得的效益極大，應值得大力投入引用。

捌、引用文獻

林正錺　余伍洲　于酒文. 1986. 利用電腦程式模擬地下水位及耕犛深度對作物吸收水分之影響. 中華農學會報,新135: 63-74.

林正錺　蔡政廷　莊作權. 1989. 機制性玉米生長模式調適之研究. p. 101-129. 中華民國土壤肥料學會代表作. 中華民國農學團體七十八年聯合年會特刊.

林正錺　蔡政廷　林毓雯. 1990. 大豆生長模式之解析與應用. "本省豆類作物土壤與肥培管理研討會" 屏東墾丁. 77年6月12日-6月14日.

林正錺　蔡彰輝. 1994. 台灣耕地圖土壤及作物適栽評估圖鑑. 行政院農委會出版, 台北. 293頁.

林正錺　陳琦玲　姚蘭香. 1995. 台灣地區玉米生產潛力分析，中華農學會報，新172:24-54.

林正錺　陳琦玲　姚蘭香　洪瑞廷. 1997. 台灣地區大豆生產潛力分析，中華農學會報，新178:10-34.

IBSNAT. 1989. Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 2.1 (DSSAT V2.1). Department of Agronomy and Soil Science, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.

U.S. Country Studies Management Team (PO-63). 1994. Guidance for vulnerability and adaptation assessments. Ver. 1. U.S. Country Studies Program. 1000 Independence Ave. SW Washington, DC 20586.

Chapter 12 Prediction with Crop Growth Models

Chenfang Lin
Department of Soil and Environmental Sciences,
National Chung-Hsing University

ABSTRACT

The contents of this chapter are based on the report of Guidance for Vulnerability and Adaptation Assessments, prepared by U.S. Country Studies Management Team (PO-63), 1994. In the report, the use of crop growth model for assessing the effects of climatic change to agricultural production was suggested. The recommended models were those in DSSAT program, which was organized by IBSNAT project and later adopted in ICASA group. Part of the crop models in DSSAT has been calibrated in Taiwan by the author of this chapter and his colleagues. This chapter was written with their experiences to elaborate the way of strategy for applying the models to study the effects of climate change on the agricultural production. In conclusion, the necessity of using the model, and the further development based on the application were suggested.

Key words: Crop model, Climatic change, Simulation Strategy.

第13章　全球氣候變遷對臺灣地區農作物生產影響
的因應研究與調整方向 191-207, 1998

第十三章　全球氣候變遷對臺灣地區農作物生產影響的因應研究與調整方向

楊純明　林俊義
臺灣省農業試驗所

摘要……192
壹、前言……192
貳、由古氣候學估測溫室效應及全球氣候變遷……193
參、溫室效應對氣候變遷的干擾……194
肆、全球氣候變遷對環境可能的影響……195
伍、因應研究與調整方向……197
陸、結語……202
柒、誌謝……203
捌、引用文獻……203
英文摘要……207

第十三章　全球氣候變遷對臺灣地區農作物生產影響的因應研究與調整方向

楊純明　林俊義
臺灣省農業試驗所

摘　　要

在估計約五十億年的地球歷史過程中，氣候與環境係不斷的變遷，惟其轉變速率緩慢，概以千、萬年甚或百萬年計。然溯自19世紀工業革命以來，近兩百年間大量石化燃料被消耗，加上人造化學品的產製、人類各樣活動的釋放、及各種天然災變等，使大氣中充滿各種溫室效應氣體。這些氣體持續累積的結果，增強了溫室效應，促成地球的溫暖化，並改變了氣象的常態運轉與演變，而加速全球氣候的變遷。氣候變遷的影響層面廣大而深遠，無論是生物或非生物，凡無法及無能適應者均將遭鉅變甚至滅絕。當然氣候變遷將影響農作物的生產，農作物生產的異動相對的亦將反饋影響氣候，造成氣候的不穩定及更劇烈的變化。為期人類糧食的穩定供應，生活空間的長久維持，乃至於大地萬物的生生不息，吾人應當關切全球氣候的變遷。竭力探索、釐清溫室效應的因果，分析、歸納氣候變遷對生態與環境的作用，謀求因應對策、規劃適當調整方向，以降低農業(農作物)生產的負面衝擊。展望臺灣地區農業的未來發展情勢，無論係精緻農業、永續農業、休閒農業、及產銷均衡等任一主題，莫不與氣候變遷密切相關。本文即針對溫室效應的『因』，氣候加速變遷的『果』，以及『延伸』對農作物的生產影響，回顧文獻並提出個人見解，與識者做學識和經驗的交流(換)，並冀望有助於未來因應措施與策略之研擬，使我國農業得以永續經營與發展。

關鍵詞：氣候變遷，臺灣地區，農作物生產，因應對策，溫室效應，溫室效應氣體，永續農業。

壹、前　　言

在估計地球誕生迄今的約五十億年歷史裡，氣候的變遷不斷的發生，惟其轉變速率甚緩，概以千、萬年甚或百萬年計。然溯自工業革命以來，近兩百年間大量石化燃料被消耗，加上人造化學品的產製、人類各樣活動的釋放、及各種天然災變等，使大氣中充滿各種溫室效應氣體。這些氣體持續累積的結果，增強了溫室效應(green-house effect)，促成地球的溫暖化，並改變了氣象的常態運轉與演變，而加速全球氣候的變遷。氣候的變遷將影響農作物的生產，相對的農作物生產的異動亦將反饋影響氣候，造成氣候的不穩定及更劇烈的變化。為期人類糧食的穩定供應，生活空間的長久維持，

大地萬物的生生不息，吾人應當關心全球氣候的變遷，竭力瞭解溫室效應的因果，謀求因應對策以降低農業(農作物)生產受到的深遠影響。

推測在鉅變的氣候之下，天氣與氣候的型態將更不規律，氣象混亂及異常現象將更頻繁，農作物的生長與產量潛能將因整體氣候環境出現明顯不同而改變。因此，以農作物的生產系統而言，不僅水資源的開發與利用必須另謀配合，農作物特性與栽培制度亦需調整，所牽涉的各種生產過程均勢必重新考量，牽動的相關層面與影響無遠弗界。本文即針對溫室效應的『因』，氣候加速變遷的『果』，以及『延伸』對農作物的生產影響，回顧文獻並提出個人見解，與識者做學識和經驗的交流(換)。並冀望農政機關、農業試驗研究單位、及相關學術機構等儘速針對相關議(問)題詳加探討、深入研究，方能及時研擬因應對策，規劃適當的調整方向，永續臺灣地區農業的經營與發展。

貳、由古氣候學估測溫室效應及全球氣候變遷

由於人的壽命有限，無法經歷長期氣候的改變趨勢與起伏，尤其對於歷史長達近五十億年的地球變遷過程更是人生苦短，古氣候學研究因此應運而生期以鑑往知來。古氣候學的時間尺度常以千年、萬年乃至於百萬年計算單位，由記錄在地層、化石、冰層、樹輪、及珊瑚之中的演變, 如地層化學成份、化石組合的改變、冰層內氣體含量、樹木年輪寬窄、及珊瑚年紋化學成份等，作為古氣候的指標而去推測古氣候的變遷。雖然實際的古氣候內涵仍難因此完整重建，某些重要氣候因子或現象或生物，如全球總冰量、古氣溫與海溫、古大氣與海洋成份、古生物與生態等均得估測，而且某時段的氣候狀態及長期大氣候變化的時間序列亦得以模擬與推演。

有關溫室效應問題，可從南北兩極冰蕊來推算古氣溫及古大氣溫室效應氣體(如二氧化碳及甲烷)濃度推知。由於兩者呈現同步改變，顯然的溫室氣體若增加，氣溫必然上升，間接驗證溫室效應的更迭。據估計在上次冰期最盛期的二氧化碳濃度約為195 ppm，今日則約360 ppm，且當時氣溫比現在低2～6℃。再依據聯合國氣候變化政府間專家委員會(IPCC)1996年報告指出，人類活動所排放的溫室效應氣體若不採取防制措施，至2100年時全球平均地面氣溫將比1990年時上升1.0～3.5℃，海平面將上升0.15～0.95 m。所以，如果全球二氧化碳排放情況持續目前趨勢，二十一世紀中期以前地球暖化現象將十分明顯，在倍增的二氧化碳濃度下氣溫可能升高2～5℃(魏，1995)。此一模擬結果若成真，隱示冰川將融化、海平面將上升、水土將異動。雖然多數氣候模擬並未加入海洋環流對氣溫的遲滯效應，而且海洋與大氣的碳循環可能減緩大氣中二氧化碳的累積，倘仍無限制石化燃料的使用繼續大量二氧化碳及其他溫室效應氣體的釋放，地球溫暖化危機勢將難免，畢竟海洋及大氣對溫度(熱能)與二氧化碳的緩衝能力有其限度。

又從現今儀器記錄的氣象資料歷史(近130年)比較，發現地表平均氣溫確有上升趨勢。在地球生態系無顯著大變動前題之下，再經年累月的利用石化能源，併生物呼吸與人類活動、人為的森林砍伐與焚燒、及火山爆發不斷等因素，必將朝著堆積溫室效應氣體方向演進。所以，無論從古氣候學或現代科技的實際測定來看，溫室效應的確存在，難堪的是正處於日益惡化之中。相同的，氣候變遷的軌跡亦清晰可循，卻也逐年在加速進行，能不令人觸目驚心!

以模式分析溫室效應氣體未來的走向及對氣候變遷的干擾，是目前大氣科學界常用的研究方法。雖然不免受到人為經濟發展與科技進步和自然大氣系統與地殼運動等因素影響而異，但是現行多種分析結果均顯示(Dickinson and Cicerone，1986;

ICPP，1990; Lashof and Tirpak，1990)，在可預見的未來大氣中溫室效應氣體濃度的增加是無法避免的。謝(1997)的研究亦推估，臺灣地區將以二氧化碳為最主要的排放源，二氧化碳將是未來增加最快、排放量最大的溫室效應氣體，限量排放已是當務之急。

參、溫室效應對氣候變遷的干擾

氣候變遷是大尺度、長期性影響全球的氣候系統，不但影響區域及國家的政治社經結構，也造成全球共同面對世界性災難的現實問題(洪，1995)。溫室效應是牽動氣候變遷的主要因素之一，對氣候變遷的干擾是無庸置疑的。就國際現勢來看，短期內大幅降低溫室效應氣體是不可能的。但是為了追求文明的永續發展，無論開發或已開發國家均應強力管制溫室效應氣體，全力配合共謀保護全球氣候系統(柳，1995 b)。

一、溫室效應的增強

大氣層是一氣、液、固相的混合體，充滿多種氣體分子、塵粒、及水汽等，組成元素眾多。在氣體分子方面，除了水分子，主要有氮、氧、氬、氖、氦、氪、氫、氙、臭氧、氡等分子及各種氣體化合物;液體分子則以水汽為主(以雲、霧等現象存在)。這些氣體分子當中，二氧化碳(CO_2)、臭氧(O_3)、甲烷(CH_4)、氟氯碳化物(CFCs)、氧化亞氮(N_2O)及水蒸氣(H_2O)等均能吸收長波輻射能，宛如覆蓋一層玻璃罩於地表保持地表溫度，即所謂的溫室效應(楊，1995b)。然近百年來石化能源的大量使用，森林的大面積砍伐、焚燒，諸種人為活動大幅擴增二氧化碳的來源。另一方面，水田的開發、廢棄物發酵及工業活動等釋出甲烷，氮肥的浮濫施用逸釋出巨量氧化亞氮，傳統冷凍劑的使用揮發氟氯碳化物，火山爆發噴釋部份溫室效應氣體，種種人為及天然活動使得溫室效應氣體逐日累增。很不幸的這些氣體生命週期甚長(Houghton *et al.*，1992)，長期在大氣中累積的結果，遂增強了大氣層的溫室效應，直接的結果係造成地球的升溫現象，也間接的影響全球氣候的變化。

在大氣層中能夠吸收長波輻射能的所謂溫室效應氣體當中，以二氧化碳、臭氧、甲烷、氧化亞氮、及人為產生的氟氯碳化物最為重要。雖然大部份的溫室效應氣體的暖化作用皆大於二氧化碳，惟因大氣中的二氧化碳含量較高，其對溫室效應的影響也最大，且是目前科技水準最難解決者(柳等，1997)。百年來二氧化碳濃度直線增加，科學界雖以450 ppm為努力設定的目標，但仍遠超過植物光合作用所需及海洋吸收速率。

十九世紀工業革命前的二氧化碳濃度約為280 ppm，二十世紀初期則升高至約300 ppm，近年來的資料顯示全球平均已達360 ppm。Houghton *et al.* (1990)由南極冰柱估算，在近兩世紀期間二氧化碳濃度升高17%，而在過去16萬年之間全球平均氣溫約上升6℃，主要與二氧化碳及甲烷濃度的增加有關;甲烷濃度在近130年間自0.8 ppm增加至1.8 ppm；另氧化亞氮在工業化以前約285 ppb，目前則為310 ppb，上升了8%。氟氯碳化物係由氟、氯、碳組成，生命週期可長達50年，各種類的氟氯碳化物在過去20年間增加非常迅速，經過國際間共同合作嚴格管制下，近幾年來已有下降趨勢，尤以CFC-11及CFC-12成效最佳。Hansen *et al.* (1989)推測，1980-1990年間大氣中的二氧化碳、氟氯碳化物、甲烷、及氧化亞氮等溫室效應氣體，對溫室效應的貢獻率各約為57、25、12、及6%，且每年分別以0.4、0.9、1.0、及0.25%速率增加。

大氣層中的臭氧濃度近年來已顯著減少，南北兩極上空的臭氧層也出現了明顯破洞。造成此現象的原因眾多，主要包括:(1)氮肥的施用:經由土壤細菌的脫氮作用(denitrification)釋出氧化亞氮(N_2O)，再繼於同溫層在波長低於310 nm紫外線作用下結

合臭氧產生氧化氮(NO)及二氧化氮(NO_2)，致減少臭氧層厚度。(2)高空飛行器的飛航：當空氣中的氮及氧氣體遇到極高溫時(如飛機噴射引擎及火箭釋出的高熱)，將因化學作用產生氧化氮，故飛行及穿越於同溫層的飛行器勢將因氧化氮得大量產生而消耗鉅量的臭氧。(3)氟氯碳化物(chlorofluocarbons)或稱氟氯甲烷類(chlorofluoromethanes)化學品(如CCl_2F_2、CCl_3F)的使用，如上述五、六十年前冷凍劑被開發及使用，這些氣體釋出進入大氣後將在同溫層因光化學作用而消耗臭氧(楊，1998)。因臭氧可吸收太陽光照射至地球低於290 nm (UV-C)的紫外光，而減輕高能紫外光直射至地表對生物的可能危害，所以臭氧濃度的減少將增加地表的輻射量，一如溫室效應而使近地面氣溫升高。

二、氣候的變遷

溫室效應的增強，直接提高了氣溫。以臺灣地區的模擬為例，據柳等(1994)估計在2050年時氣溫上升約與全球同步，大概升高3～4℃，且於夏季較明顯。降水量與分佈也改變了，春季及冬季的降水以北部較多，中南部梅雨季的降水將減少，夏、秋季颱風路徑將更難預測，使得降雨量與變化無法準確估算。而且臺灣地區的季風型態及降雨分佈，一如全球各地的變化般，不僅不同以往且不易預估，因為大尺度環流系統已經改變。又豪雨出現頻率將會增加，無論是臺灣(柳，1995a)、美國(Bruce，1994)、日本(Takedo，1993)等，都有報告指出相同結果。

溫室效應造成的氣候變遷，整體而言將有歧異的降水頻率與分佈、經常發生的異常天氣(如風暴、雪暴、雨暴等)、頻繁的乾旱、不穩定的日照等氣候失序現象，並且不同緯度及地形將各有詭變的天氣與氣候(柳，1995a)。換言之，在增強的溫室效應下，氣候的改變並非漸進或緩慢的，而係呈現震盪現象、整個氣象環境均發生混亂，無論係全球或局地氣候系統將更難找出定規律與常態。因此氣候變遷的嚴重性不在於發生前、後氣候之間的差異，乃因極端異常天氣或氣象現象帶來的災變及造成的損害。

肆、全球氣候變遷對環境可能的影響

氣候變遷對環境的影響，包括生物性的與非生物性的兩層面，但是對於引發的問題應該綜合氣候、人文、地理、乃至於社會與經濟層面總體考量，而且應該是全面的、整體的、國際的深入研究。限於篇幅，本文僅從局地氣候的失序、水質的優氧化、降水的酸化現象、生物圈與生態的改變、海洋與陸地的遷移、及紫外線輻射的增強等六方向探討及說明對農業生產環境的可能影響。

一、局地氣候的失序

一般言之，溫度的升高將使蒸發速率加快，夏天將更為乾熱，冬天卻變得潮濕；熱帶地域則更濕潤、副熱帶地域乾旱更嚴重；溫帶地域的冬季將縮短且較為溫暖，夏季則延長且更乾燥；高緯度地域的氣溫因南北極冰帽的融解流失，氣溫上升幅度較大。楊(1993)指出，氣候變遷將使降雨型態改變，可能也導致局地洪水氾濫或乾旱發生機率的升高。在臺灣地區，吳(1992)之分析報告顯示，過去90年來的全年氣溫有上升的趨勢，以5月及710月最顯著，且與降水趨勢一致，但是各地表現不一。柳等(1996)模擬資料後發現，臺灣地區的氣溫勢將上升，降雨變化尚不明確，而水汽蒸發量的增加及土壤溫度的下降將不利農業與森林生態系統的發展。

鉅變的天氣及異常氣候將不利農業生產，造成農作物巨額經濟損失，而各國因農耕制度及地理環境不同，發生的農業氣象災害種類及災情也不同。楊(1995a)年曾統計臺灣地區的農業氣象災害，依照農作物損失金額的排名，以颱風危害最大，依次為水患、乾旱、低溫、風害等。從1945年

至199 3年期間，估計損失值達新臺幣900百餘億元，每年平均損失約18億4千萬元。徐(1995)之調查結果發現，臺灣地區的農業天然災害有其不可預期性，所有農作物均會受災，災害地域全臺灣地區皆可能，而栽植面積愈大受災損失金額愈多。例如1988年8月14日前後臺灣中南部地區的豪雨引起的水患，造成的農林漁牧損失金額高達新臺幣35億3千萬元；另一場9月下旬的豪雨，則造成了東部地區近3億4千萬元的農漁業災情(謝等，1991)。因此臺灣地區內局地氣候的失序，對農作物造成的危害是可以預期的，非僅單一作物損失嚴重。農政機關當以積極的作為，加強局地天氣與氣候變化的探討，並對於農作物的損害和災變發生的預防及早謀求因應對策。

美國的異常氣候亦造成重大災情，耿及楊(1996)指出，1980年代世界各地之氣候與糧食生產均不穩定，且美國所遭遇的乾旱情形危害程度不亞於1930年代的塵暴害。Brown and Young (1988)的玉米調查資料亦顯示，美國自1980年以來因數度嚴重乾旱使玉米大幅減產，1983年損失17%，198 6年損失28%，1988年損失34%。吾人可從文獻資料輕易的找出更多類似報告，證明了局地氣候的失序對農業生產環境的破壞及對農作物的經濟損害。

二、水質的優氧化

自有人類文明以來，特別是工業革命之後，大量的原料被充分利用後轉變成廢棄物，甚至是毒性物質，然後被棄置於土壤、海洋中。這些未經適當再處理的廢棄物，最終將污染環境、破壞生態平衡。而當這些人造化學物質未經管制落入河川、湖泊、與大海時，水中有機成份(含氮、磷等有機物)的增加，將引起水質的優氧化(楊，1995b)，欠缺氧氣、充滿若干有機與無機化合物。優氧化的水質不僅危害水中生物，也不適於人類飲用及農耕灌溉，在全球暖化效應下，升高的水溫將使水質優氧化現象更劇烈。

三、降水的酸化現象

工商業發達的地區，通常各種污染物的排放也隨之增多，當酸性物質(如二氧化硫、氮氧化物、有機酸、氯離子等)結合大氣中的水汽即成為酸雨、酸霧等型式(蘇及楊，1995；U.S. National Research Council，1983)。酸化的降水對農、林、漁、牧各產業均有影響，對農田、林地、湖泊河川、及畜牧場等生產場所亦有潛在危害。以農作物而言，酸化的降水可直接由接觸的植體或間接經根系由土壤吸收，當離子濃度或酸度達一定水準或植體酸性離子累積量超過臨界值時，將出現明顯徵狀造成植株生長阻滯乃至死亡結果(蘇及楊，1995)。根據蘇及楊(1996)之試驗結果，以低於pH 3之人工模擬酸雨短期淋洗(每天40分鐘)，大豆(5天)及落花生(12天)植冠平均溫度將上升，大豆外觀並出現褐斑。

經過長期的酸化降水(酸雨)淋洗，當超過土壤對酸性物質的緩衝量臨界點之後，將不再適於農耕。酸雨影響土壤系統的化學組成，視酸雨的強度、持續性及土壤性質而定(王及劉，1996)。土壤藉其有機與無機膠體而具緩衝作用，包括鋁離子緩衝、矽酸鹽礦物緩衝、陽離子交換、陰離子固定、及有機緩衝等作用。劣質化的土壤對農作物生產的影響將更加嚴重，是屬於全面性的負面效應。有關不同類型土壤的酸性緩衝量，對農作物生長的影響機制，以及因應的解決措施，均待深入研究與模擬。

四、生物圈與生態的改變

氣候變遷必然改變陸生及水生生態系的狀態與分佈，自然也影響生物圈的消長與活動，各有正面和負面的影響(呂，1991)。由於冰雪覆蓋面積的減少，高緯度地域的溫暖化，農作物可能向這些地區發展。海平面上漲，陸地相對的下沉，陸地面積的減少連帶使得陸生與水生平衡遭受破壞。另一方面原本缺水的地區及草原、

沙漠等，面積卻將可能擴大，土地的沙漠化現象轉劇，增加不適農耕的土地(姜，1995)。這些對農地的正負效應相互抵銷下，結局難料。

升高的氣溫加長生長期，可能提高或降低水利用率；二氧化碳濃度的上升，則可能使植體變得大些，農作物肥料的需要量相對的增加。充分的肥料供應，加上良善的管理、日益精進的農業科技，在旺盛的光合作用下表面似乎有利農作物的生產。然而雜草的繁衍可能更為迅速，其他氣象環境未必能同步配合(如充足的光照、適當的溫度、合宜的濕度、無虞的水源灌溉等)，何況高二氧化碳伴隨高氣溫、低降水量(呂，1991)，各種農作物的反應不一，因此理想的境界恐未盡人意。又因植體碳氮比增加，對病蟲害將更為敏感，不利農作物生產 (United Nations Environmental Programme，1986)。若增施農藥，則恐將污染環境，危害其他無辜生物，得不償失。

根據地史證據，古氣候的鉅變經常伴隨生物的滅絕，生物量的急劇變化。相反的，由於生物與環境的環環相扣，某些物種的消滅或生物量的消長，可能將反饋造成氣候的顯著變化。當動物相及植被類型因氣候的變遷而被迫轉移時，不會移動的某些植物及遷移遲緩的動物，則可能受物競天擇而被淘汰。換言之生態的顛覆，可以預見某些生物將更能適應，某些物種(尤其是稀有及瀕危生物)則因無法調適新環境而退化甚至滅絕。

五、海洋與陸地的遷移

當氣溫上升空氣中的水蒸汽將增加，中高緯度的溫帶低氣壓活動將熱絡起來，原來多雨地區可能降水更多，乾燥地區可能更形乾旱。惟從全球觀點而言，地球暖化引起大氣中水汽的增量，將使總雨量增加。又溫度的上升使得海洋膨漲，冰帽及積雪融解亦可造成海平面升高，如此一來低窪地區會出現洪水氾濫，低海拔臨海地區或將被海水淹沒，喪失大片土地導致海陸間的遷移，人類將遭逢空前災難(柳，1995a;施，1994)。

冰河、冰山等的溶化，暴風雨的摧殘，水土受到的侵蝕將加劇，土壤的劣化也將加快。長期以來的山川地貌必將改觀，被削弱的地力將成為植物的生長障礙，動植物的食物鏈勢必瓦解，影響生物圈的動態平衡。姜(1995)指出，臺灣地區應特別重視氣候變遷對土地資源的衝擊，包括土地面積、土壤性質、及土壤肥力在內，尤其是極為嚴重的土壤沖蝕問題。臺灣地區為一海島地形，對氣候變遷所造成的海洋與陸地的遷移，反應將更加敏銳，結果也可能更為嚴重，必須及早因應。

六、紫外線輻射的增強

依照世界氣象組織(World Meteorological Organization)的區分標準，紫外線輻射依波長範圍可分為紫外線C (UV-C，100-280 nm)、紫外線B (UV-B，280-315 nm)、及紫外線A (UV-A，315-400 nm)三種。其中UV-B波段為臭氧之強吸收區間，當大氣中臭氧層因溫室效應氣體氟氯碳化物的作用或飛行器熱燃等的破壞日漸稀薄，將造成地表UV-B輻射的增強。在過去二、三十年間全球臭氧總量確已減少(Bojkov，1995；WTO，1994)，臺灣地區上空的臭氧亦觀測到有逐漸減少而紫外線輻射值有逐年增加趨勢(陳及張，1997)。紫外線輻射的增強，目前所知對動物的負面作用較多, 對植物的效應則未臻清楚。

伍、因應研究與調整方向

『預防勝於防治』及『節約能源』觀念，是因應研究與調整方向的起始點與準則。當然，氣候變遷既為全民共同面對的問題，解決之道自然是全方位的。每一個人均應全力做環保，民間各產業必須推動能源節約實務，政府應該訂定適當法令規章，研究單位宜協助研擬因應策略，協力檢驗節約能源成效，共同預防溫室效應進

一步惡化。如此，緩和全球氣候變遷作法才有成效，減輕生態環境劣質化行動才能落實。本文將從(一)二氧化碳排放量的維持、(二)農田甲烷釋放的控制、(三)其他溫室效應氣體之管理、(四)水資源的開發與管理、及(五)農作物生產上之因應等五議題，以農作物生產立場分別說明：

一、二氧化碳排放量的減少

(一)臺灣地區二氧化碳排放現況

經濟成長與能源消耗是同步的，能源消耗則是二氧化碳的主要來源、環境污染的肇始者，自光復以來臺灣地區經濟的發展與能源的消耗量呈平行遞增趨勢。馬(1996)之報告顯示，目前國內能源消費結構為工業佔50%、運輸業佔17%、商業與民生用電佔16%、其他(含農業等)佔17%，相當符合產業現況分佈。1995年的年初級能源總供給量為7,915萬公秉油當量，佔能源總類中的54.1%；另有煤炭26.3%，核能發電11.1%，液化天然氣4.6%，水力發電2.8%，天然氣1.2%。除了核能及水力發電之外，其餘能源類別均會產生大量二氧化碳及若干溫室效應氣體(易，1996)。根據汪(1997)的估計，我國二氧化碳排放總量1990年時約為113百萬公噸，1995年時上升至166百萬公噸，2000年時將達206百萬公噸或以上。以此水準，已屬於二氧化碳高排放量國家，不遜於工業化大國。我國若想依照1992年的「氣候變化綱要公約」於2000年將二氧化碳排放量減至1990年的水準，就事實來講，幾乎不太可能。另據謝(1997)報告，利用IPCC準則所估算臺灣地區的1990年溫室效應氣體排放總量為149百萬噸二氧化碳當量，其中二氧化碳佔83%，甲烷佔15%，氧化亞氮佔2%，分居前三名，故為本文敘述重點。

(二)二氧化碳排放的管制

造成氣候變遷的主要原因溫室效應，大半係來自二氧化碳累積的結果，加上它的估算方法容易且具公信力，成為國際間減緩溫室效應的首要目標。惟就目前的能源供應與需求和相對應的經濟發展，無論國內、外，大幅削減大氣中二氧化碳濃度實不樂觀。然而嚴格的控制與管制，維持現階段全球的總排放量則是可行的，而且已在1997年日本京都舉行的世界性氣候談判會議(「氣候變化綱要公約(Framework Convention on Climate Change)」締約國第三次大會)上達成共識。如何才能控制二氧化碳的排放成長呢? 其實並無秘方，關鍵在於開源和節流。一方面力行能源多元化政策、開發乾淨的能源(如太陽輻射、地熱、風力、生質能、潮汐落差位能等)，重整能源結構，發揮這些能源的使用功率與效益。再方面提高能源使用效率，降低對傳統石化燃料(如石油、煤碳、木柴等)的依賴，減少非必要的能源浪費，並嚴禁非法的廢棄物焚燒。尤其以工商業活動最需要管制，單單汽機車、航空飛行器及各式工廠的日常運轉製造的二氧化碳及其他氣體，就足以令人傷透腦筋。

早在1992年6月巴西里約熱內盧曾舉行了地球高峰會議，與會154國代表共同簽署了「氣候變化綱要公約(FCCC，Framework Convention on Climate Change)」，同意管制與規範全球性溫室效應問題及溫室效應氣體之減量，避免大氣系統再被進一步的破壞。此一綱要以全球共同合作以減少溫室氣體排放量為終極目標，截至1997年8月止，已有169個國家認可。據此，已開發國家公元2000年的二氧化碳排放量需降低至1990年的水準，海島聯盟國家2005年時再降至1990年的80%，歐盟於2010年前削減至1990年的85%(徐及王，1997)。1997年底的世界氣候會議所簽署的「京都議定書」，更決議工業化國家以2010年為目標年，各國排放之溫室效應氣體必須比1990年的水準平均削減5.2%。

倘若大氣中人為的溫室效應氣體濃度能夠因此穩定在不危及天氣系統的安全水平，則地球生態體系或能自然的自行調整而適應全球氣候的和緩變遷，農作物的生

產亦能維持糧食的需要。這些相關因應措施與作法牽涉層面甚廣，顯然的二氧化碳的減量不是單純的農業問題，必須集合產業界、政府、及全民力量齊一合作，而且是跨國界的共同努力、集思廣益。例如預期在2005年時50%二氧化碳排放量係來自於開發中國家，且以每年6%的速率持續增加，而已開發國家的年增率僅1%。顯示公約的成敗及效力的發揮乃取決於開發中國家的態度與執行程度，而經濟發展卻是其生存的必要,故成功與否仍難預料。

對農作物生產而言，並無二氧化碳排放問題，因為農作物的生產過程對二氧化碳為淨吸收，具有正面的減量功能。農作物以二氧化碳及水分子為材料，葉綠素為工廠，利用光能經過光合作用產製碳水化合物及乾物質，最終提供穀物果蔬等人類所需的糧食。在光合成過程當中，釋出副產物氧氣，因此同時具有淨化空氣品質的功能。所以，維持農田和保育林地一樣均能達到二氧化碳減量及更新氧氣的雙重作用，值得鼓勵與推廣。

二、農田甲烷釋放的控制

甲烷與二氧化碳同為主要溫室效應氣體，吸收長波輻射而蓄積熱能(Neue，1993)，因此大氣中甲烷濃度的起伏影響氣溫的增減。自工業革命後迄今，地球的溫暖化現象已因溫室效應氣體的升高而漸趨明顯(Houghton *et al.*，1992；Lin *et al.*，1993)。據Blake and Rowland (1988) 估計，若大氣甲烷濃度(目前約1.6 ppm)以每年1%速率增加，因其高倍吸熱潛能(約為二氧化碳30倍)，未來將對地球生態系造成難以估計的衝擊。因甲烷在熱能吸收上的特殊潛力，在碳的循環裡雖然濃度不如二氧化碳，仍應該特別注意甲烷的形成與減量。

雖然甲烷的主要釋放源尚未有定論，轉換機制多途徑，Watson *et al.* (1992)曾估算，大氣的甲烷來源自然形成約佔32%，人類活動約為68%；前者的70%由濕地產生，後者的22%由水田而來。因此除了畜牧業廢棄物之外，濕地及水田是生物性甲烷產生的重要來源，如何控制該等土壤微生物的活動以減緩甲烷的產生，將是重要問題(謝及王，1995)。在還原狀態(-150～-160 mV，pH 5.7)的嫌氣狀況下，土壤中的甲烷產生菌(methaneogenic bacteria)活動旺盛，極容易將土壤中的有機酸、氫氣、及二氧化碳等進一步還原為甲烷釋出(許及陳，1995)。臺灣地區的水田以水稻為主要栽培作物，以一、二期稻作面積約36萬公頃計，每年釋出的甲烷量相當可觀。

在國內的研究，鍾等(1995)試驗發現，土壤浸水後之氧化還原電位開始下降，若土面混施有機物(稻草)則下降速率加快；當氧化還原電位(Eox) 達-100 mV時，即可測得甲烷產生(做為電子傳遞鏈之接受者)，所以混施有機質之土壤產生較多量的甲烷。因此，鍾等建議增加土壤中的氧化物及實施水稻栽培前的曬田措施，以減少水田的甲烷產生。謝及王(1995)則指出，水田甲烷產生主要係微生物活動造成，期作與土質對甲烷產生影響似由微生物活性引起，甲烷釋出率與土溫、酸鹼值、氧位還原電位之關係不明顯。謝及王因此認為，(1)減少有機質施入水田、(2)增加曬田及延遲灌水、(3)選擇性施肥、及(4)選育低甲烷釋出稻種等四項，為降低水田甲烷釋出的有效對策。又為避免土壤Eox過度下降，調節水田入滲速度將有效果，對水稻產量也有幫助。

綜合前述，有關(1)土壤類別、(2)土壤氧化還原電位、酸鹼值、(3)土壤有機質與酸根(如硝酸根、硫酸根等)、(4)土壤微生物、(5)土壤元素種類與含量、(6)施肥種類與方法、及(7)水田灌水量與流程等(許及陳，1995)，均為值得探討、研究之項目，以尋求減少甲烷產生、釋出對策。此外，廢棄物亦為甲烷的主要來源，農業(農林漁牧)廢棄物也佔有一席之地。從收穫指數來估算，農作物的廢棄物常達50%以上，如前述如何善用這些廢棄物是一門重要學問，應予考量的因應對策之一。

三、其他溫室效應氣體之管理

在新一代冷凍劑開發使用後，工商業氟氯碳化物的使用已漸減少，大氣中的濃度也已下降。目前先進國家多已禁用此類化合物，國內環保署並定出使用限制，未來開發中國家若能配合，在全面禁用下將有助於減少臭氧層的進一步破壞和地球的暖化。特別在紫外線輻射方面，臭氧濃度的維持將避免UV-B輻射的增強，惟國內甚少專業人員從事紫外線輻射與作物生育關係研究，其因果關係及對病蟲害發生影響仍待探討。

氧化亞氮是另一項重要的溫室效應氣體，石化燃料的燃燒也會釋出，而大氣中30%的氧化亞氮是由水田與濕地(如沼澤、紅樹林)所逸釋，並與農作物生產所施用的肥料有關，其吸收輻射的能力約為二氧化碳的150倍(許及陳，1995；Bouwman *et al.*，1993；Eichner，1990；Pierzynski *et al.*，1994；Rodhe，1990；Whiting and Chanton，1992)。氧化亞氮在還原土壤中，主要是在脫氮作用(denitrification)過程中逸釋，其次為硝化作用(nitrification)，透過生物性及非生物性方式產生，無論水田及旱田均可測得。

水田、濕地的氧化亞氮釋放與土壤性質有關，尤以水分潛勢、有機物含量、及氧化還原電位為主，而施用氮肥將改變這些因子(許及陳，1995；Bouwman and Sombroek，1990；Pierzynski *et al.*，1994；Whiting and Chanton，1992)。由於施肥及高有機質有利於農作物的生長，卻也增加氧化亞氮及甲烷的釋放量，兩難間的取捨與調整是控制成功與否的關鍵。此外，灌溉的調節、浸水狀態的改進、及選用低氧化亞氮適出之有機肥與綠肥等，也是值得加以探究的因應措施。

四、水資源的開發與管理

由全球氣候變遷的趨勢，未來水資源的供應將更難掌握，相對的乾旱災害的發生頻率與地區範圍將愈加惡化。面臨降水的不均與不足，未雨綢繆之計惟有加強水資源的開發與管理，水源的儲存、水的利用、廢水的回收、水質的再生循環、乃至於水的利用效率等皆是重點，相關科技的研發是必要的。在農作物的生產系統上，無論是生產過程的灌溉、採收後的清理、及精緻農產品的加工製造層面，水的使用蹤跡無處不在。如何開發有限的水資源，並予精心的管理，配合水分利用效率的提高，以獲得最大效率與效益的水利用，將是二十一世紀人類尋求生存的重要課題。

五、農作物生產上之因應

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 的1996年報告指出，科學證據顯示氣候變遷主要由人為所引起，以人為方式減少溫室效應氣體的排放將能緩和溫室效應，有助於減弱氣候變遷速度(施，1996)。人為方式包括經濟的與非經濟的策略，傳統的與科技的方法，強制的與主動的手段，然均需要各產業相互配合與遵守。基本上農業對二氧化碳正面的減量功能高於負面的製造，尤以農作物光合作用的績效最為人知。面臨全球二氧化碳及其他溫室氣體的增加趨勢，農業上因應的可行之道甚多，雖視現況及可動用的資源而定，預防性的作為、前瞻性的整合科技、永續性的立場則是不變的原則。如此，減量成果方能突顯，績效才會持久。本文以農作物生產的觀點，參照現行農業科技的可行主張與作法，提出以下五項因應策略建議：

1. 維持適量農、林地面積，禁止森林濫伐，並加強植樹造林工作

由於植物可以吸收二氧化碳利用於光合產物的生成，同時釋出氧氣，因此農地及林地面積的維持非常重要。由於林地幾佔臺灣地區總面積的三分之二，以造林擴大植被覆蓋，將能維持二氧化碳與氧氣的進出平衡。先進國家對於森林採取計畫性砍伐，在截取林木的同時，也造林彌補空

白，態度頗為慎重、積極。部份開發中國家為開闢農地或增闢財源，常年焚燒其廣大森林或廉售林木，漫無規劃的剷除綠色植被，成為破壞林地生態、釋放二氧化碳的元兇之一。南美洲的森林大火和1997-1998年間的印尼霾害即為著名實例，數以百千公頃計的原始森林被無知的焚毀、濫伐。如何以國際制裁力量禁止此項不當土地開發行為，對抑制二氧化碳的爆增將有助益。再者，鼓勵與推廣栽植合適樹種開發森林資源更是積極主動的行動，可同時獲得環境保護及綠化美化雙重成效。

在民國四、五十年代，林木及木製品為臺灣地區主要的外銷農產品之一，外匯的重要來源。近年來造林成為林務單位的首要業務，在森林旅遊、環境綠化、及林地生態維護功能之外，對二氧化碳的減量亦具實效。相信植樹造林工作仍將持續執行，相對的森林火災應該嚴加防範。

2. 提高農作物的二氧化碳利用效率，促進二氧化碳的固定

此一作法牽涉農作物生產方式的調整及生理的代謝，宜採育種、栽培方法、耕作制度等配套措施通盤規劃，一舉增加二氧化碳的吸收與生質轉換效率。目的是以最低能量消耗來固定二氧化碳、推動光合產物的次級生產、及各種生質的轉換，發揮生質中二氧化碳的最大利用，使得二氧化碳在被植體重新釋放之前充分『做功』。另外，當妥善處理收穫物之外的殘留植體，如混入土壤增加有機肥、改良土質，或成為生質能源、研發其他用途。

當田間農作物的主要收穫物採收之後，剩餘的植體殘留物尚含有高百分比的碳素及其他成份，具有相當的利用及經濟價值，宜正確而妥善處理。以甘蔗言之，從碳素循環與利用的角度，常見的焚燒作法其實並不洽當。焚燒收穫當時的甘蔗植體固然可以燒除枯葉、雜草、及無關的廢棄物，降低蔗體含水量而提高蔗糖濃度，有利於隨後的工廠處理過程及壓榨作業。但是，焚燒不單純是釋放二氧化碳及消耗氧氣，尚可能產生多種毒害氣體，製造空氣污染問題。對於包括對人畜的健康、生態的危害、景觀的破壞、氣候的潛在干擾等影響深遠，難以評估。再者，煙霧將妨礙交通，也造成社會經常作息的不便，亦是負面的惡果。國內稻稈的焚燒是另一例，佔一半收穫指數的稻稈經過燃燒，相當於原來50%當季長期蓄積的二氧化碳在瞬間又釋放回大氣，從碳素固定效益來講是十分愚蠢的不智行為。

植體殘留物是可以多方利用的寶貝，當它被混入土壤中時，將是很好的有機質。當它在工廠中分解時，可以回收各種有用的成分。當它經過適當的處理，可以直接或轉製成為高經濟價值成品。關鍵在於再生與再利用技術的研發，充分應用碳素循環的多樣角色與功能。任何植物的植體組成份眾多，雖以水分、氮素、碳素、及礦物元素為主要，組合變化卻有萬千，當然有其萬千的妙用，而以焚燒的整體經濟效益最差。切忌以廢物心態焚燒殘留物，否則不僅釋出原已固定的二氧化碳，也消耗了氧氣，引起空氣與水源等污染。

3. 增進農作物對氣候變遷的適應力，降低氣候變遷帶來各層面潛在的衝擊

除了被動的設法減少溫室效應氣體的排放，減緩氣候變遷的努力以外，以育種或栽植環境改善來主動的增進農作物對外在環境改變的適應、競爭能力，亦為重要因應之道。農業是靠天吃飯的產業，去適應變遷的氣候也是一種方法，林(1995)謂『順應天道，生物賴以繁衍昌榮』。氣候變化與農作物產量之豐歉關係密切，作物的生產表現同時受到遺傳及環境因素控制，其中氣候因子又干擾其他環境狀況，左右作物遺傳組成的功能與顯現(朱，1976；楊，1995a)。在育種上，研究培育對於變遷的氣象環境及病蟲害抗性或耐性較強之農作物品種，或選擇較不易受災的農作物種類，均是可行的作法，可以繼續農作物生產。

未來可能的高二氧化碳及高氣溫，局地的淹水及乾旱，日夜或年溫差的加大，日射量的降低(蒸發散量增加導致雲量增多而日照通透量減少)，病蟲害敏感性的增高等，皆將伴隨氣候變遷而來，不利農作物的生產(林，1995)。由於局地狀況不同，針對當地未來狀況及潛在災害性天氣進行必要的育種或選種和栽培技術改進以提升適應力，將是氣候變遷下農作物存在與發展的主要方法。

在栽植環境改善上，如改良土壤質地與施肥方法、改進生產技術、提昇防災設備、改善灌排水系統、調整水保設施、及設置災變天候預警系統等積極措施，提供農作物較為穩定而良好的環境。高經濟價值作物的設施栽培亦為有效途徑，不僅避免災害的侵犯，更提供了作物較佳的生長條件，是以設施資材的研發與利用、設施結構的設計與改進、以及設施栽培介質與營養的使用及與管理等項目均需加強。如此以內在的育種及外在生長環境的改善雙重措施，將兼顧預防與防制兩項功用。由強化農作物對新環境的適應與競爭，而維持農作物的生產力，並避免或減輕部份植物的滅種危機，維護生物相的多樣化。

在病、蟲方面，作物病蟲害之發生、繁衍與流行也將因氣候變遷而改變(黃及蕭，1998；鄭，1998)，除了氣象環境之直接影響外，人為針對氣候變遷採取的各項措施亦可能造成間接影響病、蟲的蔓延和作物的罹病機制。由於局地氣候變化不一，病、蟲害的研究及對應措施將因地而異，其間的相互關聯性雖然複雜，因應的策略仍不外乎(1)作物抗、耐種選育，(2)綜合防治調整，(3)加強病、蟲族群之預測與預報，及(4)配合病、蟲生態演化研究等四大方向，知已知彼掌握防治先機。

4. 施行有機農業體系，永續農業的發展

農業生產過程難免釋出溫室效應氣體，以細心、耐心與愛心去經營管理，必可減少這些氣體的排放。實施有機農業栽培，多使用有機肥料、減少化學肥料，則土壤可維持高有機物含量，不僅將有利於土壤微生物的活動與平衡，也改善土壤性質，減輕土質的流失。更重要的，化學性氮肥的減量使得氧化亞氮逸釋減少，高地力土壤促進植體生長而增加二氧化碳固定，穩定而平衡的生態保存各種生物的生機。再者，『永續經營與發展』的新思維已獲得各界認同，整個國土資源的開發與利用也漸朝此方向進行。為使農業永續經營，將有必要維持適量的農地，採用永續性的方法與策略發展農業，實施有機農業體系是可行途徑之一。如何保護農地、執行農地農用、規劃農地釋出、及調整農業結構，則是另項必須因應與值得研究的議題，政府與全民應該共同來監督和執行。

5. 研發植物生質能源，替代高污染能源

先進國家如美國、日本等，已將『替代性低污染能源之研究與發展』列入未來能源政策之發展要點。植物性甲醇、乙醇、甲烷、氫氣等，均是深具潛力的開發項目。這些植物生質能源二氧化碳的釋放量低於傳統石化油品，且可作為運輸工具替代燃料，將可能成為能源明日之星。此一研發方向值得大力推動，其中轉換低碳生質能源成為高功率燃料及能量再生技術，將是成功與否亟待解決的兩項關鍵議題。除了石化及鋼鐵工廠，汽機車的龐大排放量一直是國內溫室效應氣體的主要來源之一，研發植物生質能源替代高污染石化能源確是一條光明之路。

陸、結　　語

近年來環保意識高漲，綠色潮流風起雲湧，對全球溫室效應及氣候變遷的關注日益密切。相較於歐美、鄰近日本及中國大陸等而言，臺灣地區對全球氣候變遷的研究起步甚晚，為了探究臺灣地區人文、地理、社會、經濟、產業等各層面可能受到的衝擊，國內學界及產業界等應積極力

求迎頭趕上。溫室效應氣體的減量將是首要目標，再生能源的開發利用及高能源效率技術的研發應用則為主要作為，惟有開源與節流齊步併行，才有機會真正減緩全球氣候的快速變遷。

由於氣候變遷具有連鎖作用，因此除了臺灣及週邊地區的改善，更需要聯合世界各國共同參與，整合各界攜手努力共謀避免全球氣候鉅變及因應興革之道。為了農業的永續，為了糧食的充分供應，針對全球氣候變遷對臺灣地區農作物生產影響的因應研究必須加強，以地區的特性、全球性的格局、及長時程的眼光實施調整策略。以往農業試驗研究並無全面而整體的規劃，遠不如先進國家的遠見與氣魄。在環境保護與生態維護體系當中，農業是唯一擁有產業的、生態的、環保的多種特質的產業，當然是最重要的一環。

從以『經濟導向』調整為以『永續型態發展』將是農業轉型的第一步，雖然短期間內農作物的生產成本或將增加、收益可能減少，但從長遠的生態觀點必然值得。針對本文議題，作者不僅再次強調對氣候變遷的預警與預防工作，同時也體認災後補救的重要性，然而這一切都需要長期的規劃、長遠的眼光、前瞻性的魄力。「有研究，才有策略」及「今天不做，明天一定後悔」的名言，將是見證歷史的最佳座右銘，農業是國家發展的基礎產業，振衰起蔽捨我其誰，共勉之。

柒、誌　謝

作者感謝行政院農業委員會提供本計畫(87科技-1.1-糧-08)經費，使本篇報告得以順利完成，並因此喚起國人對全球氣候變遷問題的重視。

捌、引用文獻

王銀波 劉黔蘭. 1996. 酸雨對農耕土壤的影響. 中華農業氣象 3:125-130.

朱良基. 1976. 氣候變化與農作物產量之預測. 科學農業 24(1-2):3-6.

汪雅康. 1997. 全球變遷之因應：產業發展政策之因應. p.96-105. 1997年4月23日邁向二十一世紀：全球變遷之衝擊與因應研討會論文集. 臺灣大學全球變遷中心及環境品質文教基金會出版，臺北市.

呂昌華.1991. 溫室效應問題(續). 世界環境 31:11-14.

易洪庭. 1996. 我國的能源政策方向. p.101-106. 環保特刊：1996年臺北國際環保暨能源展專刊. 經濟日報，臺北市.

林鴻淇. 1995. 臺灣農業生產對氣候變遷因應之道. p.57-63. 氣候變遷與農業生產. 行政院農業委員會出版. 臺北市.

吳明進. 1992. 臺灣的氣候變化：氣溫和降水. 大氣科學 20:295-318.

洪肇嘉. 1995. 國際間對氣候變遷衝擊之研究趨勢及我國之因應方向. p.1-16. 氣候變遷與農業生產. 行政院農業委員會出版. 臺北市.

姜善鑫. 1995. 氣候變遷對臺灣土地資源之影響及其因應. p.32-42. 1995年2月24-25日「全球氣候變遷對臺灣之影響與因應研究規劃研討會」論文資料. 臺灣大學全球變遷研究中心，臺北市.

柳中明 王維強 吳明進. 1994. 臺灣地區未來氣候變遷之評估. 1994年3月18-19日臺灣地區氣候變遷因素及影響研討會. 臺灣大學全球變遷研究中心，臺北市.

柳中明. 1995a.「全球氣候變遷對臺灣之影響與因應」初探. p.1-25. 1995年2月24-25日「全球氣候變遷對臺灣之影響與因應研究規劃研討會」論文資料. 臺灣大學全球變遷研究中心，臺北市.

柳中明. 1995b.「臺灣地區全球氣候變遷研究之規劃與推動」期末報告. 臺灣大學全球變遷研究中心，臺北市.

柳中明 吳明進 王維強. 1996. 全球暖化下臺灣氣候變遷預估：半經驗法. 中華民國環境保護學會會誌. 19:1-23.

柳中明 劉銘龍 張品青. 1997. 能源與二氧化碳排放減量. 全球變遷通訊 16:1-9.

施學銘. 1994. 全球海水面上升可能的衝擊與因應. 1994年3月18-19日臺灣地區氣候變遷因素及影響研討會. 臺灣大學全球變遷研究中心，臺北市.

施學銘. 1996. 全球變遷對臺灣環境的影響與因應策略之探討. p.26-41. 1996年4月25日「全球氣候變遷與溫室氣體排放減量」座談會論文集，國立中山大學海洋地質與化學研究所，高雄市.

陳福來 張修武. 1997. 臺灣地區臭氧及紫外線觀測之資料分析. p.111-117. 天氣分析及預報研討會氣象論文集彙編. 中央氣象局，台北市.

許正一 陳尊賢. 1995. 影響濕地土壤釋放甲烷與氧化亞氮的因子. p.289-306. 氣候變遷與農業生產. 行政院農業委員會出版. 臺北市.

馬小康. 1996.「能源利用」之二氧化碳排放減量策略. p.106-115. 1996年4月25日「全球氣候變遷與溫室氣體排放減量」座談會論文集，國立中山大學海洋地質與化學研究所，高雄市.

徐源清. 1995. 臺灣地區農業天然災害損失及因應措施之探討. 臺灣農業 31(3):42-56.

徐光蓉 王塗發. 1997. 全球CO_2減量風潮中，台灣應如何因應? 全球變遷通訊 16:9-11.

耿旭 楊之遠. 1996. 全球氣候變遷對農業生產影響之評估. 中華農學會報 新 174:1-11.

黃益田 蕭淑芬. 1998. 全球氣候變遷對農作物病害發生影響及因應策略. p.59-71. 全球氣候變遷對臺灣地區糧食生產影響及因應策略. 林俊義 楊純明 主編. 臺灣省農業試驗所，臺中縣.

楊日昌. 1993. 全球變遷與臺灣. p.3-4. 1993年3月10日「全球變遷與能源問題」研討會論文摘要，工業技術研究院能源與資源研究所，新竹縣.

楊純明. 1995a. 臺灣地區農業氣象災害(1945-1993)及因應之研究方向. 中華農業氣象 2:31-35.

楊純明. 1998. 氣象環境對農作物生育影響及遙測技術之介紹. p.105-144. 楊純明 主編，農業微氣象之觀測與資料處理. 中華農業氣象學會出版，臺中縣霧峰鄉.

楊盛行. 1995b. 氣候變遷與農業生產. p.65-83. 氣候變遷與農業生產. 行政院農業委員會出版. 臺北市.

鄭清煥. 1998. 全球氣候變遷對農作物蟲害發生影響及因應策略. p.73-85. 全球氣候變遷對臺灣地區糧食生產影響及因應策略. 林俊義 楊純明 主編. 臺灣省農業試驗所，臺中縣.

謝志誠. 1997. 經濟大風暴前的寧靜「氣候變化綱要公約」的衝擊與省思. 全球變遷通訊 16:21-29.

謝雨生 鄭宜仲 曹崇聖. 1991. 臺灣農業天然災害損失之長期變遷趨勢. 臺灣農業 27(1):20-35.

謝學武 王銀波. 1995. 臺灣中部地區水稻田之甲烷釋放. p.101-116. 氣候變遷與農業生產. 行政院農業委員會出版. 臺北市.

鍾仁賜 張義宏 林家慶 黃山內 楊盛行. 1995. 水田土壤中甲烷的釋放. p.85-99. 氣候變遷與農業生產. 行政院農業委員會出版. 臺北市.

魏國彥. 1995. 從古氣候學觀點看全球變遷. 科學月刊 26(2):141-146.

蘇慕容 楊純明. 1995. 酸性濕沉降對農作物影響之探討. 中華農業氣象 2:47-52.

蘇慕容 楊純明. 1996. 輻射光譜及紅外線熱像檢測大豆及落花生對人工模擬酸雨之徵狀反應. 中華農業氣象 3:131-140.

Blake, D. R. and F. S. Rowland. 1988. Continuing worldwide increase in tropospheric methane. Science 239:1129-1131.

Bojkov, R. D. 1995. The Changing Ozone Layer. WMO Report.

Bouwman, A. F. and W. G. Sombroek. 1990. Inputs to climatic change by soil and agriculture related activities. p.15-30. *In* : Soils on a Warmer Earth. H. W. Scharpenseel, M. Schomaker and A. Ayoub, eds. Feb. 12-14, 1989. Proceedings of an International Workshop on Effects of Expected Climate Change on Soil Processes in the Tropics and Sub-tropics. Union Nations of Environmental Programme and International Society of Soil Science.

Bouwman, A. F., I. Fung, E. Matthews and J. John. 1993. Global analysis of the potential for N_2O production in natural soils. Global Biogeochem. Cycle 7:557-597.

Brown, L. R. and J. E. Young. 1988. Growing food in a warmer world. Watch. 1(6):31-35.

Bruce, J. P. 1994. Natural disaster reduction and global change. Bull. Amer. Meteorol. 75:1831-1835.

Dickinson, R. E. and R. J. Cicerone. 1986. Future global warming from atmospheric trace gases. Nature 319:109-115.

Eichner, M. J. 1990. Nitrous oxide emissions from fertilized soils: summary of available data. J. Environ. Qual. 19:272-280.

Lin, S. C., E. Y. Hsie, S. McKeen and H. Lin. 1993. Effect of Anthropogenic aerosols on diurnal temperature range. p.348-382. *In*: Proceedings of International Conference on Regional Environment. & Climate Changes in East Asia. 30 Nov.-3 Dec., 1993. Global Change Center, Natl. Taiwan Univ., Taiwan.

Hansen, J., A. Lacis and F. Prather. 1989. Effect of chloroflurocarbon and other trace gases. J. Geophys. Res. 94:16417-16421.

Houghton, J. T., G. J. Jenkins and J. J. Ephraums. 1990. Climate Change. p.364. *In*: The IPCC Scientific Assesment. Intergovernmental Panel on Climate Change. UN Environmental Programme/World Meteorological Organization, Cambridge Univeristy Press, London.

Houghton, J. T., B. A. Callander and S. K. Varney. 1992. Climate Change. *In* : The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Intergovernmental Meteorological Organization, Cambrideage Univ. Press., London.

IPCC. 1990. Climate Change. The IPCC Scientific Assessment. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge Univ. Press, London. 365pp.

Lashof, D. A. and D. A. Tirpak. 1990. Policy options for stabilizing global climate. Hemisphere Publ. Corp. 810pp.

Neue, H. U. 1993. Methane emission from rice field. BioScience 43:466-473.

Pierzynski, G. M., J. T. Sims and G. F. Vance. 1994. The atmosphere: global climate change and acid precipitation. p. 237-259. *In*: Soil and Environmental Quality. Lewis Publ., Boca Raton, RL, USA.

Rodhe, H. 1990. A comparison of the contribution of various gases to the greenhouse effect. Science 248:1217-1219.

Takedo, T. 1993. Remote sensing and heavy rainfall disasters. p.397-407. *In*: International Decade for Natural Disaster Reduction. Aichi/Nagoya Interna- tional Conference, Japan.

United Nations Environmental Programme. 1986. The Changing Atmosphere. p.8. UNEP Environmental Brief No. 1. Nairobi, Kenya.

U. S. National Research Council. 1983. Acid

Deposition. National Academy Press, Washington D. C. 719pp.

Whiting, G. J. and J. P. Chanton. 1992. Plant-dependent CH4 emission in a subarctic Canadian fen. Global Biogeochem. Cycle 6:225-231.

World Meteorological Organization. 1994. Scientific Assessment of Ozone Depletion. Global Ozone Research and Monitoring Project. No.37. WMO Report.

Chapter 13 Research Strategies and Adjustment Directions for Crop Production in Taiwan Area in Response to Global Climate Change

Chwen-Ming Yang and Chien-Yih Lin
Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung Hsien, Taiwan, ROC

ABSTRACT

During the estimated 5 billions history of the Earth in the past, changes of climate and environment were continously and progressively. The current concerns on the accelerating greenhouse effect were due mainly to man-made emission of various gases in the atmosphere, such as CO_2, CH_4, N_2O and CFCs, that can absorb longwave radiation. Such phenomenon becomes stronger and stronger since nineteen century, and is now recognized imposing a tremendous influence over the globe as a whole, including a larg e-scale global climate change and the numerous environmental consequences. The influence of climate change is overwhelmingly, extending to both biotic and nonbiotic factors. With regard to food supply, living space protection, and ecology integrity, many concerns are placed on problems in related to reducing greenhouse gases and assessing regional and global climate changes. In reviewing of literature, issues of how greenhouse effect intensify global climate change and how climate change affected crop production will be discussed in this paper. To mitigate impact and negative effects in mind, suggestions and comments will be given on research strategy and adjustment direction for crop production in Taiwan area in response to global climate change.

Key words: Climate change, Taiwan area, Crop production, Strategy and direction in response, Greenhouse effect, Greenhouse effect gases, Sustaining agriculture.

附錄一

本書為「全球氣候變遷對臺灣地區糧食生產影響研究」計畫執行成果, 為「氣候變遷對農作物的影響研究」計畫三項細部計畫之一。

「氣候變遷對農作物的影響研究」計畫主持人: 林俊義博士

「全球氣候變遷對臺灣地區糧食生產影響研究」計畫主持人: 楊純明博士

籌備委員會

壹、農政機關部份

行政院農業委員會農糧處農產科林明華技正

行政院農業委員會農糧處農產科鄭耀星技正

貳、大專院校部份

(1)國立臺灣大學全球變遷中心柳中明教授、農業化學系楊盛行教授

(2)國立中興大學李成章校長、農藝系朱德民教授、宋濟民教授、林俊隆教授、園藝系倪正柱教授、植物系翁仁憲教授、土壤環境系王銀波教授、申雍教授、植物病理系謝式坪鈺教授、昆蟲系齊心教授

(3)國立屏東科技大學水保技術系徐森雄教授

(4)嘉南藥理學院環境工程系劉瑞美教授

參、農業試驗研究機構部份

(1)臺灣省農業試驗所林俊義所長、應用動物系陳炳輝研究員、農藝系楊純明副研究員、嘉義分所植保系鄭清煥主任

(2)臺灣省桃園區農業改良場黃益田副場長

(3)臺灣省臺南區農業改良場黃山內場長

肆、其他研究機構部份

(1)中央研究院經濟研究所張靜貞研究員

(2)中央氣象局農業氣象科廖志翔科長

名詞索引

DSSAT 184, 186
ENSO 21, 64, 99
FCCC 163, 198
GCM 74, 124, 164, 165, 167
IBSNAT 184, 185
ICASA 185
IRICP 22
NOAA 22
C_3型植物 4, 34, 125, 153
C_4型植物 4, 34, 125, 153
一氧化碳 48
二氧化硫 42, 48
二氧化氮 195
二氧化碳 2, 3, 4, 8, 10, 44, 49, 50, 61, 63, 122, 123, 129, 152, 163, 171, 172, 193, 194, 198, 201
人類活動 8, 193
大豆生長模式 187
大氣 9, 12, 200
大氣環流 195
土地利用 167, 189
土地價格 167
土壤 122, 128, 199
土壤有機質 130, 199
土壤微生物 40, 199
六氟化硫 12, 123
尺度 9, 193
化石 193
化學防治 80
太陽輻射 162
火山爆發 193
日照 44, 49, 50, 195
水田 3, 122, 127, 128, 130, 163, 194, 199, 200
水汽 9, 19
水(災)患 3, 20, 195
水害 88, 89, 101
水資源 8, 9, 27, 45, 188, 193, 200
水稻 4, 36, 60, 125, 152, 154
甲烷 2, 3, 8, 9, 11, 26, 122, 127, 129, 130, 152, 163, 171, 172, 193, 194, 198, 199
甲烷生成(產生)菌 128, 199
全氯碳化物 12
全球氣候變遷 42, 60, 74, 198
全球溫暖趨勢 126
全球變遷 13, 142
生育 152
生物防治 110
生物圈 9, 196
生產結構 171, 172
生產潛力 187, 188
生質 12, 143, 201
生質能 171, 202
生態維護 203, 207
古氣候學 193
石化能源(燃料) 3, 124, 163, 171, 193, 200
甘蔗 42
永續農業 192
永續經營 3, 8, 27
永續發展 8, 27
有機質(物) 199
有機農業 202
因應研究 4, 197, 203
因應措施 78
因應策略 3, 4, 24, 60, 65, 100, 105, 114, 144
成本 4, 162, 168, 171, 172
防治 4, 65, 78
旱田 122, 127
旱害 88, 89, 101
冰層 193
冰雹 88, 99
冰蕊 193
冷媒 12, 163
冷凍劑 194, 195
冷害 60
作物 152

作物生產模　4, 184
作物模式　184, 188
季節風　95, 96, 102
低溫　88, 98, 195
低溫傷(災)害　98
雨量　49, 75
雨暴　195
長波輻射能　194
沼氣　171, 172
花卉　4, 43
京都議定書　198
果樹　4, 49
南方震盪　21
風害　41, 102, 195
雨暴　195
紅外線輻射　8, 9
降水(雨)　17, 44, 47, 77, 195
降水(雨)分佈　47, 195
降水酸化　196
降水頻率　47, 195
降雨型態　195
施肥　12, 26, 131, 199
珊瑚　193
茶樹　8, 9, 20
災害性天氣　3, 4, 8, 9, 20
臭氧　9, 41, 61, 63, 194, 195, 197
氧化亞氮　2, 3, 4, 8, 9, 11, 122, 126, 127, 130, 142, 171, 194, 200
氧化氮　195
氧化還原電位　40, 130, 199
氧化亞氮還原酵素　130
氧氣　3
氟氯甲烷類　195
氟氯碳化物　2, 8, 9, 12, 47, 123, 163, 194, 197
氟碳化物　123
氣溫　4, 8, 9, 14, 20, 49, 110, 143, 171, 193
氣候　8, 26, 186
氣候變化綱要公約　3, 163, 171, 198
氣候變遷　2, 3, 4, 5, 9, 26, 34, 38, 63, 78, 170, 184, 192, 194, 201
氣候變異性　8, 20
高二氧化碳　34, 41, 152, 153, 155
高溫　20, 34, 40, 88, 100, 154
能源　5, 8, 10, 24, 198
海水位　8
海平面　8, 9, 22, 193
海氣偶合模式　21
校正　186
造林　168, 169, 200
效益　4, 162
特用作物　4, 42
根溫　110, 114
病害　60, 63, 115
病害預測　66
病蟲害　4, 49, 110, 115, 163, 202
產量　4, 47, 152
被覆材質　110, 112, 113
設施栽培　4, 45, 110, 111
脫氮　25, 130
脫氮作用　130, 194
乾旱　3, 20, 195
產銷均衡　192
排水　110, 131, 142
雪暴　195
異常天氣　196
菸草　42
短波輻射　9
紫外線　4, 47, 62, 112, 152, 155
紫外線A　197
紫外線B　61, 62, 74, 152, 155, 156, 197
紫外線C　155, 195, 197
紫外線輻射　19, 66, 197
硝化　25, 127, 130, 131
硝化作用　144
減量　3, 162, 165, 172, 198, 203
減量措施　4, 164, 168, 171, 176
氮肥　25, 42, 126, 127, 131, 142, 143, 171, 194
氮氧化合物　163
氮素循環　144
氮稅　172, 175

焚風　96, 103
焚風害　60
焚燒　193, 201
森林　8, 24, 124, 127, 142, 193, 200
植樹造林　200
植體殘留物　201
廄肥　126, 144
寒害　88
寒潮　20
節約能源　197
溫室效應　2, 3, 4, 5, 8, 162, 164, 165, 176, 192, 193, 194, 198
溫室(效應)氣體　2, 3, 4, 8, 9, 24, 122, 123, 129, 142, 163, 170, 192, 193, 198
溫暖化　2, 76, 122, 162, 170, 192
農地農用　202
農作物生產　2, 4, 5, 142, 143, 192, 198, 200
農業　8, 25, 122, 203
農業生產　2, 3, 34, 162
農業生態防治　65
農業系統分析　184
農業氣象災害　3, 195
發育速率　75
發育適溫　75, 76
發育臨界低溫　75, 76
發育臨界高溫　75
福利分配　172, 175
預防　4, 88, 197, 203
聖嬰(現象)　21, 64
暖冬　21
綜合防治　202
綠色政策　168
綠肥　126, 200
蒸發量　19
豪雨　3, 20, 196
酸雨　41, 48, 61, 171, 196
酸鹼值　199
颱風　3, 20, 21, 45, 47, 60, 88, 93, 102
颱風雨　91
適應策略　186
碳稅　169, 171, 172, 175
碳循環　193, 201
模式(型)　171, 184, 185
模式分析　193
模式應用　184, 188
衝擊　162, 185
調適　5, 162
調整方向　5, 193, 197
潮汐(落差)　23
暴雨　20, 45
暴潮　23
緩衝能力　193
耦合動態模擬研究　63
蔬菜　4, 45, 154, 155
樹輪　193
廢水再收　200
廢棄物　8, 26, 126, 128, 130, 194, 199
經濟分析　188
經濟評估　4, 162
經濟導向　203
濕地　127, 128, 199, 200
濕度　19
霜害　60
優氧化　196
環境污染　198
環境保護　201, 203
聯合國氣候變化政府間專家委員會(IPCC)　9, 128, 162, 193
糧食生產　2, 3
糧食作物　4, 34
糧食供需(應)　3
灌溉　103, 110, 131, 142, 185, 187
霾害　20, 201
變遷劇本　187
靈敏度分析　186

氣候變遷對農作物生產之影響

發行人：林俊義
主　編：林俊義　楊純明
出版者：臺灣省農業試驗所
地址/臺中縣霧峰鄉萬豐村中正路189號
電話/(04) 330-2301
傳真/(04) 333-8162
承印者：寶成電腦文字排字坊
地址/臺中市建成路300號
電話/(04) 211-2469
傳真/(04) 211-1655

中華民國八十七年六月出版

ISBN 957-02-1643-3
統一編號：030854870061

統　一　編　號
030854870061

台灣省農業試驗所
TAIWAN AGRICULTURAL RESEARCH INSTITUTE
1895

ISBN 957-02-1643-3

9 789570 216431